

1968.2

BULLETIN

DU

**Musée royal d'Histoire
naturelle de Belgique**

Tome XIV, n° 39.
Bruxelles, septembre 1938.

MEDEDEELINGEN

VAN HET

**Koninklijk Natuurhistorisch
Museum van België**

Deel XIV, n° 39.
Brussel, September 1938.

**QUELQUES TYPES DE « RÉCIFS »
SILURIENS ET DÉVONIENS DE L'AMÉRIQUE DU NORD.**

**ESSAI DE COMPARAISON
AVEC LES RÉCIFS CORALLIENS ACTUELS,**

par M. LECOMPTE (Bruxelles).

(Pl. I-V.)

Introduction.

Durant l'année 1937, j'ai eu l'occasion d'effectuer, en Amérique du Nord, sous les auspices de la C. R. B. Educational Foundation, un voyage de recherches qui m'a permis d'étudier des récifs coralliens actuels, au cours d'un séjour prolongé à la station marine de Tortugas (Floride) et aux îles Bermudes, et de voir un bon nombre de « récifs » fossiles du Silurien et du Dévonien des Etats-Unis et du Canada. Cette première note expose quelques-unes des observations réalisées et s'efforce d'en dégager quelques traits susceptibles de contribuer à élucider la question des structures dites récifales du Paléozoïque.

Il n'est pas dans mon intention de présenter ici une monographie de tous les « récifs » fossiles de l'Etat de New-York, du Michigan, de l'Ohio, de l'Indiana, de l'Illinois, de l'Ontario, que j'ai examinés. Ce serait un exposé sans intérêt, ces structures ayant, presque toutes, fait l'objet de descriptions de la part de géologues américains. Je ne retiendrai que les types les plus représentatifs. Les caractéristiques qui s'en dégageront, rap-

prochées de ce que l'on peut observer dans les structures semblables du dévonien de l'Ardenne, permettront d'établir un parallèle rapide avec les récifs coralliens actuels. Cette discussion, je tiens à le spécifier, ne prendra pas l'allure d'une thèse. Pour lui donner cette forme, trop d'éléments essentiels font encore défaut. Bien des points, et non des moindres, restent obscurs touchant la structure profonde et la genèse des récifs coralliens actuels. Quant aux amas organogènes fossiles qui leur ont été assimilés, on n'en connaît à peu près rien de précis et l'étude du milieu envasant a été totalement négligée. Les recherches de J. E. Hoffmeister et H. G. Ladd, en ce qui regarde les récifs récents surélevés, entreprises avec beaucoup de soin, ont déjà apporté des éléments intéressants au problème et il est souhaitable que ces savants puissent les poursuivre jusqu'au bout. Pour les structures plus anciennes, du Paléozoïque en particulier, un travail plus important reste à faire. Le but de cette note n'est, en somme, que d'en montrer la nécessité, en posant les éléments du problème. Si elle pouvait susciter quelques initiatives, ce serait un résultat bien au-dessus de ses mérites.

Qu'il me soit permis, en terminant cette introduction, de remercier tous ceux qui ont contribué à la réussite du voyage d'étude qui est à l'origine de la présente note.

En tout premier lieu, ma gratitude va à la *C. R. B. Educational Foundation* et à son Conseil, qui ont bien voulu m'honorer d'un Advanced Fellowship et, avec une bonne grâce dont il me serait difficile d'exagérer le prix, ont accepté de financer une exploration onéreuse mais combien fructueuse. L'aide et l'amabilité de M^r P. C. Galpin, Vice-Président de la Fondation, à New-York, ont grandement facilité ma mission.

La *Carnegie Institution of Washington*, en m'offrant généreusement, à l'initiative aimable de son éminent Président, le D^r J. C. Merriam, de faire un séjour à sa station biologique de Tortugas (Floride), m'a fourni l'occasion de réaliser, avec toutes les facilités d'un équipement et d'une aide remarquable, ce qu'est un récif corallien et de faire une abondante moisson d'observations et de matériaux, d'un prix inestimable pour les recherches que je poursuis sur les coraux et les « récifs » du Dévonien de la Belgique. Je lui en sais gré au delà de toute expression.

A M. le Professeur V. Van Straelen, directeur du Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique, qui me proposa cette occasion

unique de développer mes bases de recherche et qui mit tout en œuvre pour m'en faciliter la réalisation, je tiens à exprimer d'une façon toute spéciale ma reconnaissance.

Aux spécialistes américains, qui ont mis à ma disposition toutes les ressources de leur expérience et d'une cordialité poussée jusqu'aux extrêmes limites, je voudrais dire le souvenir impérissable que m'a laissé le temps passé en leur compagnie et le profit que j'en ai retiré. A chacun d'eux, je voudrais redire le regret que j'ai éprouvé en quittant cette terre hospitalière et qui, mieux que des paroles, traduit mes sentiments. Qu'ils veuillent bien trouver ici mes remerciements les plus chaleureux. Je cite : le Prof. R. S. Bassler, le Prof. P. Bartsch, le Dr T. W. Vaughan, le Dr W. Schmitt, le Dr G. A. Cooper et son assistant temporaire M. P. E. Cloud, le Dr A. H. Clark, de l'United States National Museum de Washington, le Dr R. Miner, de l'American Museum of Natural History de New-York, le Dr R. Ruedeman et le Dr W. Goldring du New-York State Museum d'Albany, le Prof. R. A. Daly et le Dr P. E. Raymond d'Harvard College, le Prof. J. E. Hoffmeister, de Rochester, le Prof. B. Smitt, de Skaneateles, le Dr J. W. Wells, d'Ithaca, M. J. Reimann, du Buffalo Museum of Sciences, le Prof. G. M. Ehlers, de l'Université de Michigan à Ann-Arbor, le Prof. E. R. Cumings, de l'Université d'Indiana à Bloomington, le Prof. J. H. Bretz, de l'Université de Chicago, le Prof. W. H. Twenhofel, de l'Université de Wisconsin à Madison, le Prof. M. K. Swartz, du Pennsylvania State College, M. Maubray, conservateur de l'Aquarium des Iles Bermudes.

I. Les « récifs » siluriens de l'Etat de New-York et de l'Indiana (1).

A. « Récifs » de l'Etat de New-York. — A de nombreux endroits dans la partie septentrionale de l'Etat de New-York, particulièrement dans les comtés de Niagara et de Monroe, les couches supérieures de Clinton (2) (Silurien moyen : Niagarien) donnent naissance à de petites lentilles de calcaire massif qui sont généralement considérées comme des récifs. Ces lentilles, qui s'encla-

(1) Voir la localisation des « récifs » sur la carte annexée (pl. V).

(2) Pour les termes stratigraphiques utilisés dans cette note, voir le tableau qui se trouve à la fin.

vent dans le calcaire stratifié d'Irondequoit ou qui le surmontent en s'envasant dans les schistes de Rochester, n'ont guère plus de 5 mètres d'épaisseur, souvent moins, et atteignent au maximum un développement horizontal d'une quinzaine de mètres.

J'ai eu l'occasion d'observer l'un de ces petits « récifs » dans la gorge du Niagara, à environ un demi-mile au Nord de l'Université de Niagara, dans la tranchée de l'ancien New-York Central Railroad à hauteur de la troisième baraque de garde. C'est une petite lentille de calcaire massif de 6 à 7 m. de long sur 3 à 4 m. de hauteur, à bords très découpés, reposant sur le calcaire stratifié d'Irondequoit qu'elle déprime (fig. 1).

La roche est, d'une façon générale, constituée par un amas de

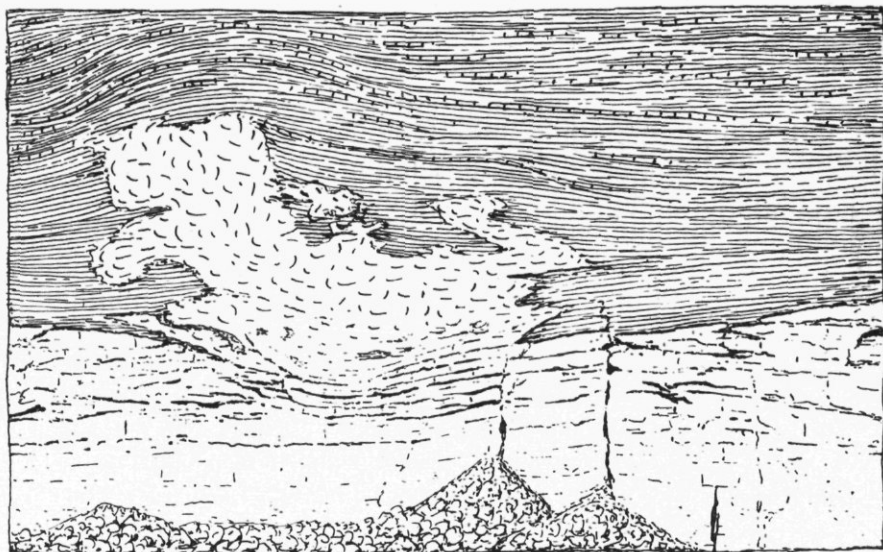


Fig. 1. — Petit « récif » dans la tranchée de l'ancien New-York Central Railroad, à environ un demi-mile au Nord de l'Université de Niagara. Il repose sur le calcaire d'Irondequoit et s'envase dans les schistes de Rochester.

Bryozoaires, de Crinoïdes et de Brachiopodes avec, en ordre accessoire, de petits Polypiers, des Blastoïdes, des Trilobites, des Gastéropodes, des Céphalopodes, des Pélécypodes, cimentés par une pâte plus ou moins abondante. Par endroits, dans la partie axiale, semble-t-il, les Bryozoaires prédominent. Associés à quelques Brachiopodes et à des débris peu abondants de Crinoïdes, ils

sont enrobés dans un ciment abondant, microcristallin. Dans d'autres parties de la masse, les plus nombreuses m'a-t-il paru, et spécialement vers les bords, la roche est essentiellement constituée de pièces désarticulées de Crinoïdes auxquels se joignent de nombreux Brachiopodes, des Trilobites et les autres organismes signalés plus haut, le tout empâté dans une matrice relativement peu abondante, constituée tout entière de menus cristaux de dolomite.

Ces organismes, pour autant que j'ai pu me rendre compte par les lames minces taillées dans le matériel récolté, ne sont pas en position de vie. L'état de dislocation des Crinoïdes et d'une partie des Brachiopodes implique l'action mécanique des vagues ou de courants, mais faible pourtant, car des organismes aussi délicats que les Bryozoaires ne sont que partiellement détruits. Il faut en conclure que le matériel organique accumulé à cet endroit n'a pu venir de loin. Il ne s'est d'ailleurs pas amoncelé au hasard. Il s'est vraisemblablement développé sur place mais dans des conditions peu favorables.

Les schistes de Rochester qui envasent latéralement et surmontent le « récif » sont entrelardés de minces bancs calcaires qui se relèvent sur les flancs de celui-ci et dessinent au-dessus de son sommet des voûtes adoucies. Ils contiennent au voisinage de la masse calcaire une faune sensiblement identique à celle qu'on trouve dans celle-ci.

La base du « récif » est concave. Sous celle-ci, les derniers bancs crinoïdiques du calcaire d'Irondequoit se terminent en biseau, de telle sorte que l'aspect général de la lentille se rapproche beaucoup de la forme amygdaloïde que ces structures montrent communément quand elles sont entièrement enclavées dans le calcaire d'Irondequoit.

B. « Récifs » de l'Indiana. — Les nombreuses lentilles de calcaire massif qui se présentent en enclaves dans les couches de Mississinewa, de Liston Creek et de Huntington, dans l'Indiana, et qui ont longtemps laissé perplexes les géologues américains, sont regardées actuellement, à l'initiative de E. R. Cumings et de R. R. Shrock [1927-1928], comme de vrais récifs ou bioherms, pour employer le terme proposé par le premier de ces auteurs [1932].

Les structures désignées sous ce nom, et qui s'isolent souvent en dômes ou « klintar » dans la topographie régionale, sont essen-

tiellement composées d'un noyau de calcaire ou de dolomie, dépourvu de toute stratification, entouré d'une collerette de bancs calcaires, plus ou moins fortement inclinés et s'amincissant en sifflet vers l'extérieur, qui se raccordent, généralement en indentations, aux couches horizontales contemporaines.

Le noyau de calcaire massif, ou récif proprement dit dans l'interprétation des géologues américains, représenterait le travail directement constructif des organismes. Il ne dépasse guère 100 m. de diamètre et ne montre pas une hauteur supérieure à 25 mètres mais, à aucun endroit, le sommet ni la base ne sont visibles. Le plus souvent dolomitique, il ne contient que des restes organiques pauvrement préservés : des *Stromatopores*, des *Coraux* et d'autres fossiles. On y observe, en outre, de nombreuses poches de calcite qui représenteraient, d'après E. R. Cumings et R. R. Shrock, des cavités originelles ou seraient les témoins de la dissolution de *Polypiers* et de *Stromatopores*. Dans certains cas, particulièrement quand le fleurage de calcite fait défaut, les fossiles, parfois en grand nombre, sont bien préservés.

Les bancs calcaires ou dolomitiques, inclinés et bien stratifiés, qui s'appuient sur le noyau, avec un pendage qui peut atteindre 65 degrés au contact, sont considérés par E. R. Cumings et R. R. Shrock comme les flancs du récif, dont ils constituent une sorte de talus ébouleux sur lequel se développaient encore en grand nombre les organismes constructeurs. Leurs caractères lithologiques, dans les parties fortement redressées, sont assez voisins de ceux du récif sur lequel ils s'appuient. A mesure qu'ils s'éloignent de celui-ci et qu'ils s'aplanissent, ils passent progressivement aux strates normales dont ils peuvent cependant rester distincts par l'un ou l'autre caractère bien tranché, comme, par exemple, l'absence des cherts qui caractérisent les couches de Liston Creek.

J'ai eu la bonne fortune de visiter un grand nombre de ces structures de l'Indiana septentrional, tout le long de la rivière Wabash, sous la conduite même du Professeur E. R. Cumings, à qui je renouvelle ici mes remerciements les plus chaleureux. Parmi les nombreux « récifs » que nous avons examinés, je veux en retenir deux qui illustrent bien les phénomènes exposés ci-dessus et qui peuvent être présentés comme types des récifs du Silurien de l'Indiana.

« RÉCIF » DE BLUFFTON. — La France Stone Company exploite, dans le calcaire de Liston Creek, à 2 miles au Nord de Bluffton,

un petit « récif » qui, dans l'état actuel de la carrière, montre très bien les relations avec les strates envasantes.

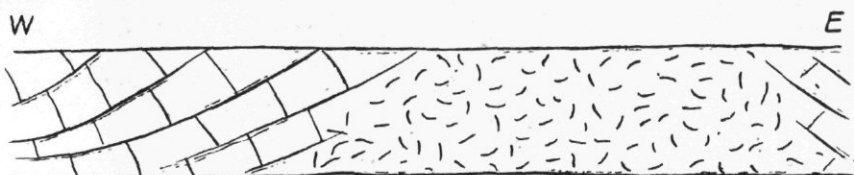


Fig. 2. — Carrière de la France Stone Company, à Bluffton (Indiana septentrional). Paroi Nord montrant l'appareil « récifal », à cœur massif surmonté de couches inclinées s'amincissant et s'aplanissant vers l'extérieur.

Le cœur du « récif » apparaît sur la paroi Nord-Ouest ; le sommet en a été érodé. Il est constitué par un calcaire dolomitique massif riche en *Stromatopores*, contenant en outre des *Polypiers* (*Favosites* et *Halysites*), des *Céphalopodes*, etc. Les gros bancs qui s'appuient sur cette masse avec une inclinaison de 35° sont plus riches que celle-ci en *Polypiers*. En passant aux couches normales de Liston Creek, ces bancs s'amincissent rapidement en s'aplanissant mais sans s'indenter de manière bien reconnaissable dans ces dernières.

L'absence de cherts dans le « récif », où la circulation de l'eau serait aussi aisée, et même davantage, que dans les couches envasantes, conduit les auteurs américains à supposer que ces concrétions sont contemporaines de la sédimentation et auraient été précipitées sous forme de silice gélatineuse. Le « récif », construit dans la zone des brisants, ne serait pas un endroit propice au dépôt lent et calme de gels colloïdaux. Ceux-ci, dont l'origine serait à rechercher sur le continent, auraient pu, au contraire, se déposer dans les aires calmes comprises entre les « récifs » et alimentées à la fois par les produits de désagrégation des amas organogènes et par les apports de la terre ferme.

« RÉCIF » DE LA STATION DE WABASH. — La plus belle section qu'on puisse voir actuellement d'un récif silurien de l'Indiana est exposée à la station de Wabash. Elle est particulièrement remarquable sur la paroi occidentale de la tranchée à voie unique située immédiatement au Nord de la gare.

Le « récif » tout entier, avec les couches envasantes, y est exposé sur une longueur de 300 m. environ, suivant une section Nord-Sud passant à peu près idéalement par son centre.

C'est une structure légèrement dissymétrique, un peu plus développée sur le flanc Nord que sur le flanc Sud.

Le noyau, composé de dolomie massive jaunâtre, a la forme d'un cône, que soulignent quelques joints (voir pl. I, fig. 2). Sur celui-ci s'appuient des bancs, dolomitiques également, qui



Fig. 3. — « Récif » de la station de Wabash (Indiana septentrional).

Le noyau massif à « *Stromatactis* » est recouvert de bancs dolomitiques qui s'indentent dans les couches schisto-calcaires de Mississinewa.

s'amincissent vers l'extérieur et se relient en indentation aux schistes fortement calcaires de Mississinewa, un peu noduleux et relevés près du contact, mais qui reprennent assez rapidement leur position horizontale.

Le cœur du « récif » tout entier et une bonne partie des bancs dolomitiques inclinés sont mouchetés de poches efflorescentes de calcite absolument identiques aux *Stromatactis* de nos lentilles de marbre rouge du Frasnien moyen, disposées comme dans celles-ci harmoniquement aux joints de la masse et aux bancs inclinés. Elles se détachent en sombre sur la paroi claire, en raison du noir de fumée dont elles sont enduites (voir pl. I, fig. 2 a, 2 b).

Ce fut pour moi une réelle surprise de retrouver, dans le silurien de l'Indiana, ces structures caractérisées par Edouard Dupont (1881, p. 268) dans les « récifs » de la Belgique. Comme dans ceux-ci, elles se marquent sur la tranche de la roche par des rubans cristallins, simples ou complexes, à base assez régulière et à surface supérieure fortement digitée. Les géologues américains les ont regardées comme des *Stromatopores* altérés par la diagenèse. Pas plus au cours de ma rapide exploration que dans les sections minces que j'ai taillées dans les échantillons recueillis, je n'ai rien pu déceler qui rappelle un *Stromatopore*. Comme c'est généralement le cas chez nous, sauf une exception que j'ai décrite récemment [1937], l'examen microscopique ne révèle pas la moindre trace organique dans ces rubans cristallins.

En dehors de ces structures problématiques, qui représentent l'élément fondamental du « récif », les fossiles sont rares. Il n'est pas douteux cependant qu'ils y furent abondants, mais la dolomitisation de la roche les a détruits. Les lames minces taillées dans la matrice permettent d'en observer des traces indubitables mais leur état d'altération est tel que, sauf pour l'un ou l'autre fragment de crinoïde, reconnaissable par l'extinction unique, il est impossible d'en déterminer la nature.

Les analyses chimiques faites par E. R. Cumings et R. R. Shrock montrent une teneur en magnésie un peu plus élevée dans le cœur du « récif » que dans les bancs stratifiés qui constituent ses flancs, mais pas essentiellement différente cependant. Par contre, l'insoluble est nettement plus important dans les bancs inclinés.

Selon E. R. Cumings et R. R. Shrock, et pour beaucoup de géologues américains, ces « récifs » siluriens de l'Indiana, comme ceux de l'Ouest de l'Etat de New-York dont il a été question plus haut, faisaient partie d'une Grande Barrière qui, vers le milieu des temps niagariens, prospérait dans les eaux basses périphériques d'une mer qui s'étendait sur l'Ouest de l'Etat de New-York, l'Ontario, le Michigan, l'Ohio, le Nord de l'Indiana, l'Illinois, l'Iowa, l'Est du Wisconsin et se rattachait, au Nord, au domaine arctique.

II. Les « Récifs » dévoniens de l'Etat de New-York et du Michigan.

Le dévonien moyen et supérieur de l'Etat de New-York et du Michigan expose un grand nombre de « récifs » à différents niveaux. Ceux dont nous donnons ci-dessous une description rapide représentent assez bien les divers types de structure qu'ils comportent.

A. « Récifs de l'Onondaga ». — Le calcaire d'Onondaga, qui marque le début du Dévonien moyen et qui, dans l'Ouest de New-York et le Michigan, repose en discordance sur un socle ancien, est généralement riche en Polypiers et enclave, à de nombreux endroits, des lentilles massives dans la constitution desquelles ces organismes jouent un rôle important. Selon certains auteurs (Grabau, 1932, p. 424), les Coraux, dans la mer onondagienne, constituaient un récif-barrière parallèle à la côte, depuis la Vir-

ginie jusqu'au Michigan, en passant par le Maryland, la Pennsylvanie, le New-Jersey, l'Etat de New-York.

Les « récifs » de ce niveau ont été peu étudiés, ce qui tient à la rareté des affleurements et au fait que les carrières ont, de préférence, exploité le calcaire en dehors des « récifs » mêmes. Je n'ai eu l'occasion d'en observer nulle part une section complète.

Sur les flancs du « récif » de Williamsville, près de Buffalo (N.-Y.), l'un des plus connus (voir Grabau, 1932, p. 426, fig. 87), deux carrières ont largement exploité le calcaire stratifié, mais aucune n'a entamé bien fortement la lentille elle-même. L'une d'elles (la Vogelsanger Quarry) permet d'observer une toute petite section marginale du « récif ». Elle montre un calcaire massif ou découpé de joints imparfaits, bourré de Polypiers de toutes tailles, certains dépassant un mètre, dont un bon nombre, comme les *Favosites* et les *Heliolites*, ainsi que les *Stromatopores*, sont en forme de grosses lamelles. Ces organismes véritablement empilés l'un sur l'autre, une partie d'entre eux en position de vie, sont unis par un ciment peu abondant, cristallin, crinoïdique, ou par une pâte verte dans laquelle abondent de petits Crinoïdes et des Bryozoaires qu'accompagnent des Brachiopodes et des Ostracodes. Le ciment est parfois affecté par une large recristallisation de calcite granoblastique.

Des phénomènes mécaniques s'accusent sur la bordure du « récif ». On y observe notamment des colonies de *Disphyllum* très comprimées. L'examen microscopique montre des individus aplatis, cassés, corrodés, rognés par un réseau de terrasses qui traversent la roche parallèlement à l'aplatissement. Les septa, brisés dans la calcite de remplissage, établissent que les colonies avaient déjà subi un dommage avant la fossilisation.

L'abondance extraordinaire des Polypiers dans une pâte parcimonieuse (*Favosites* massifs, tubéreux et branchus, *Syringopora*, *Aulopora*, *Heliolites*, *Cladopora*, *Disphyllum* et autres colonies de Tétracoralliaires, *Stromatopores*) et la taille de certains d'entre eux sont sans aucun doute impressionnantes. Dans aucun de nos « récifs » de Belgique je n'ai jamais rien vu de semblable. Pour la première fois, cette exubérance de vie corallienne m'a fait penser aux récifs actuels et, bien qu'il y ait lieu d'être prudent en ne voyant que le talus du « récif », il est cependant évident qu'on se trouve devant un phénomène corallien important. Dans les strates immédiatement envasantes, qui ont fait l'objet

d'une large exploitation, les coraux pullulent encore, mais ce sont principalement des Tétracoralliaires solitaires. Les Cystiphyllides notamment s'y trouvent en quantités invraisemblables.

La seconde carrière montre, à divers niveaux, des intercalations d'un calcaire mal stratifié, riche encore en polypiers, par endroits chertueux, entre des bancs crinoïdiques parfaitement stratifiés (voir pl. II, fig. 1). Cette structure montre que le récif se relie en indentations aux couches envasantes. La présence de cherts dans la roche submassive est à souligner; ils affectent souvent les polypiers dont ils respectent les structures, ce qui dénote leur origine secondaire.

B. « Récifs » Hamiltoniens de New-York. — La série d'Hamilton dans l'Etat de New-York, est essentiellement un complexe schisteux. Les phases calcaires y sont peu importantes. Les conditions propres au développement des Coraux ne furent que rarement réalisées et elles ne se prolongèrent jamais bien longtemps. Aussi, les formations calcaires construites par ces organismes sont peu épaisses (guère plus de 8 pieds). Par contre, elles s'étendent, semble-t-il, sur des aires considérables. C'est dans la partie inférieure de l'Hamilton qu'on les trouve.

Le plus typique de ces amas coralligènes est exposé le long de la rive orientale du lac de Skaneateles, à l'endroit dénommé Staghorn Point. J'ai eu l'occasion de l'observer en compagnie du Dr Burnett Smith qui l'a si bien décrit [1912] et que je remercie ici pour son extrême amabilité.

Le « récif » se présente comme un banc peu épais de 3 à 4 pieds de puissance, entièrement constitué de Polypiers enrobés dans un ciment schisto-calcareux noir parcimonieux (voir pl. II, fig. 2-2 a). Les Coraux sont, en énorme majorité, des Tétracoralliaires solitaires (*Heliophyllum*, *Cystiphyllum*, *Zaphrentis*...) accompagnés de quelques colonies de *Disphyllum* et de rares tabulés: *Favosites* massifs et branchus. Ce ne sont pas là des coraux de facies récifal. Ce sont les constructeurs habituels de certains de nos calcaires stratifiés paléozoïques, que nous considérons comme particulièrement adaptés aux conditions vaseuses d'un milieu qui ne convenait certainement pas à l'édification d'un récif.

C. « Récifs » du Traverse Group (Hamilton) du Michigan. — Les couches du Dévonien moyen, essentiellement schisteuses dans l'Etat de New-York et l'Ontario (Canada), font place, dans

le Michigan, à un facies calcaire largement prédominant qui montre, à différents niveaux, l'épanouissement d'une faune corallienne aboutissant fréquemment à la constitution de lentilles de calcaire massif regardées comme des récifs. Selon les géologues américains, ces structures doivent avoir été abondamment développées sur le Michigan durant le Dévonien moyen. Elles auraient même constitué, à l'époque, un véritable récif-barrière ou, au moins, un alignement de récifs isolés, frangeants, le long d'un continent qui s'étendait sur le bord de l'actuel lac Érié, l'Ohio, l'Indiana et le Michigan méridional. Les caractères physiographiques actuels du Michigan et l'existence d'une couche épaisse de dépôts glaciaires masquent le plus souvent leur présence. Aux environs d'Alpena, sur le bord du lac Huron, et de Petoskey, sur la rive Est du lac Michigan, ils affleurent en petites collines qui se détachent sur la topographie calme. Ils ont été exploités dans un certain nombre de carrières, en raison de la grande pureté du calcaire qui les constitue. C'est dans ces deux régions que nous les avons étudiés.

« RÉCIFS » DES ENVIRONS D'ALPENA. — Les « récifs » se présentent ici dans l'horizon d'Alpena, entièrement calcaire sauf une petite passe marneuse, le « Dock Street Clay », facies purement local subordonné. La Thunder Bay Quarry et la carrière de la Michigan Alkali Company exposent de remarquables sections du calcaire d'Alpena et des « récifs » subordonnés. Les deux sections se complètent.

La *Thunder Bay Quarry* a entamé la partie moyenne et supérieure du calcaire d'Alpena. Le front d'exploitation, au moment de ma visite, exposait quatre ou cinq pointements de « récifs », dont un gros. Les relations avec les couches envasantes étaient



Fig. 5. — Thunder Bay Quarry (Alpena-Michigan). La partie de la paroi figurée montre deux pointements de calcaire massif reliés par les strates normales du calcaire d'Alpena.

particulièrement bien visibles (voir pl. III, fig. 1, 1 a, 1 b, 1 c). Le croquis ci-dessus montre le « récif » principal, un pointement secondaire et les strates qui les relient.

Le calcaire massif, de teinte claire, qui constitue le « récif » principal est bourré de Stromatopores, de Tétracoralliaires solitaires ou en colonies (principalement des *Prismatophyllum*), et de Tabulés (*Syringopora* et surtout, en grande quantité, des *Favosites* massifs, lamellaires et branchus) auxquels se joignent, en petit nombre, des brachiopodes. Le cœur du « récif » a subi une assez forte dolomitisation qui se marque, notamment, par deux poches pulvérulentes dans lesquelles les organismes constructeurs ont été, en grande partie, détruits.

Vers les bords, la pâte devient crinoïdique — nous y avons trouvé en place quelques beaux calices —, mais elle enrobe les mêmes organismes, moins nombreux cependant et de préférence lamellaires, tandis que des terrasses vertes s'indentent dans la masse. Au microscope, cette pâte se montre constituée par un empilement extraordinaire de pièces désarticulées de Crinoïdes associées à de nombreux débris de Bryozoaires. Le ciment peu abondant qui les relie est tout entier constitué de calcite granoblastique, en orientation conforme avec les pièces de Crinoïdes, dont un petit nombre seulement paraît affecté par la recristallisation (voir Pl. IV, fig. 1-1 a).

Les bancs qui s'appuient sur le récif sont essentiellement crinoïdiques. Vers le contact, ils contiennent encore des Stromatopores et des Polypiers, qui disparaissent à peu de distance. Ils se relèvent sur le « récif » en s'amincissant, et une partie d'entre eux, les inférieurs, passent au calcaire massif d'une façon progressive qui rend le contact indistinct (voir pl. III, fig. 1-1 a).

Au sommet de la carrière, apparaît, sur un des flancs du « récif », le Dock Street Clay, facies marneux ou schisteux, bourré de Stromatopores lamellaires, de *Favosites* massifs et branchus, de *Striatopora*, de Tétracoralliaires solitaires et de Bryozoaires, associés à des Crinoïdes et des Brachiopodes.

Les bancs supérieurs, qui terminent l'horizon d'Alpena et qui devaient sans doute recouvrir le récif mais qu'on ne voit que sur les flancs, sont crinoïdiques et dolomitisés. Ils sont riches en Brachiopodes et contiennent encore quelques Polypiers, principalement des *Favosites* massifs et branchus et des *Striatopora*. Au microscope, cette roche se montre très semblable à celle des bords du récif. Comme celle-ci, elle est essentiellement un empilement de pièces désarticulées de Crinoïdes et de Bryozoaires, mais les uns et les autres de taille plus petite, avec des Brachiopodes et des Ostracodes. Ici aussi, le ciment est uniquement

formé de calcite granoblastique, en orientation conforme aux pièces de Crinoïdes qu'il enrobe et qu'il entame partiellement. Cette calcite granoblastique est, par endroits, maclée et les maclées couvrent, occasionnellement, à la fois une pièce crinoïdique et le ciment qui l'entoure, ce qui met en évidence l'origine secondaire de celui-ci.

La carrière de la Michigan Alkali Company expose, à son niveau inférieur, la partie inférieure du calcaire d'Alpena immédiatement sous-jacente aux récifs décrits ci-dessus et qui sont exploités sur le palier supérieur.

Ces bancs inférieurs, que je m'excuse de ne pas désigner d'une façon plus précise parce qu'ils n'ont pas encore fait l'objet, jusqu'à ce jour, d'une publication de la part des auteurs américains qui les ont étudiés, sont constitués par un calcaire gris-bleu à *Stromatopores* rubanés et *Polypiers* : *Favosites* et *Prismatophyllum* principalement. Ils isolent eux aussi quelques petites lentilles massives en dômes surbaissés qui s'apparentent aux « récifs » de la partie supérieure d'Alpena.

Le coin Sud-Ouest de la carrière montrait, au moment de mon passage, l'une de ces structures, fixée dans le croquis ci-dessous.

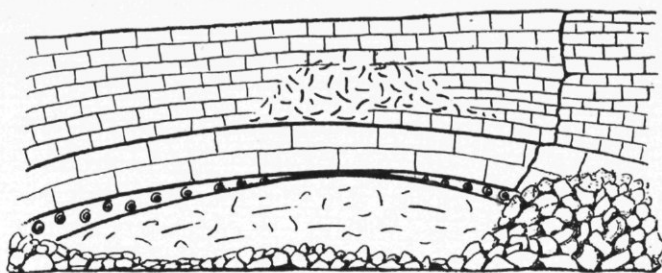


Fig. 6. — Carrière de la Michigan Alkali Company (Alpena, Michigan). Paroi Sud-Ouest montrant un petit dôme de calcaire massif dans la partie inférieure du calcaire d'Alpena.

La paroi qui l'expose et qui s'arrête au premier palier de la carrière n'a guère qu'une douzaine de mètres de hauteur. Le calcaire massif, ou plutôt grossièrement stratifié, qui en compose la partie inférieure s'étend sur une vingtaine de mètres de longueur. Il est essentiellement constitué de *Stromatopores* lamellaires, apparemment en position de vie. Les *Prismatophyllum* et les *Favosites* massifs qui les accompagnent sont, pour la plu-

part, retournés. On se trouve donc vraisemblablement sur le bord du « récif ». Sur la surface en dôme de la lentille, un banc à Céphalopodes vient se terminer en biseau de part et d'autre du sommet. Au-dessus d'un gros banc régulier qui la surmonte, le calcaire massif réapparaît sous forme d'un tout petit pointement, situé dans l'axe du premier, envasé et surplombé par du calcaire plus intensivement stratifié.

Plusieurs dômes de ce genre sont visibles sur le front inférieur de la carrière.

Comme, d'autre part, le palier supérieur qui exploite le niveau de la Thunder Bay Quarry montre plusieurs pointements de calcaire massif qui ne sont, en somme, séparés des premiers que par une épaisseur relativement faible de calcaire stratifié (voir Pl. II, fig. 3), il est permis de se demander si tout l'ensemble de ces structures, de l'Alpena inférieur et supérieur, ne forment pas une seule masse que son irrégularité et l'avancement inégal de l'exploitation fait apparaître en pointements distincts.

Récif de Four Mile Dam. — Je voudrais encore rapporter ici quelques observations faites à 3 miles au N.-W. d'Alpena, à l'endroit dénommé Four Mile Dam, sur la rivière Thunder Bay.

Dans le lit de la rivière, apparaît un « récif » qui se place, d'après G. A. Cooper, tout au sommet de l'Alpena, au-dessus de ceux de la Thunder Bay Quarry. L'eau étant trop haute par suite des fortes pluies de la nuit qui précéda ma visite, il me fut impossible de voir le « récif » en place, mais un amas, accessible à proximité, de blocs qui en provenaient me permit de faire quelques observations sur sa composition lithologique. A côté de blocs de calcaire crinoïdique gris clair à *Camarotoecchia* et *Spirifer Venustus* contenant, en outre, des Polypiers en petit nombre (*Favosites* rubanés et branchus et *Cladopora*), des Bryozoaires, des Trilobites et des Céphalopodes, analogues aux bancs supérieurs de la Thunder Bay Quarry et qui forment sans doute le recouvrement, on observe de nombreux blocs de calcaire massif gris-bleu ou gris-vert à pâte très fine enrobant, en grand nombre, des colonies de *Cylindrophyllum*, quelques Brachiopodes et des Trilobites. Au microscope, dans un ciment microcristallin très abondant, on reconnaît de nombreux Bryozoaires de genres divers, entiers ou en fragments, quelques Rugueux, de rares Crinoïdes et quelques petits Brachiopodes. Ce calcaire fréquemment tacheté de rouge, en fleurs et en zones, rappelle certains de nos « récifs » du Dévonien supérieur. C'est le seul cas de ce genre que j'ai eu l'occasion d'observer au cours de mon voyage aux Etats-

Unis et c'est la raison pour laquelle j'ai cru utile de le signaler. Si l'on observe que ce « récif » se trouve précisément au sommet du calcaire d'Alpena, il y a peut-être là une indication intéressante.

« RÉCIFS » DE PETOSKEY. — Les formations « récifales » sont ici moins bien exposées que dans la région d'Alpena. Les exploitations qui les ont entamées n'en montrent que des sections marginales, parfois tout à fait insuffisantes pour risquer une interprétation. J'en ai observé deux, l'une à la carrière de la Petoskey Portland Cement Company, l'autre dans la Northern Line Company's Quarry.

La première ne se présente que comme un petit banc de 1 à 4 pieds d'épaisseur se renflant sporadiquement aux endroits où se développent des colonies de *Prismatophyllum*, pouvant atteindre 2 m. de diamètre, en position de vie ou retournées, qu'accompagnent des *Favosites* branchus ou massifs de modeste taille, quelques Rugueux solitaires, des Stromatopores, des Bryozoaires (*Fenestelles*) et quelques Brachiopodes.

Beaucoup plus intéressant est le « récif » mis à découvert dans la carrière de la Northern Lime Company, très bien décrit par M. A. Fenton (1921, p. 195-202, pl. I-II). Le croquis ci-dessous représente l'état de la paroi au moment de ma visite.

Le calcaire massif qui le constitue, et qui chevauche les séries de Charlevoix et de Petoskey de E. R. Pohl (1930, p. 14), est

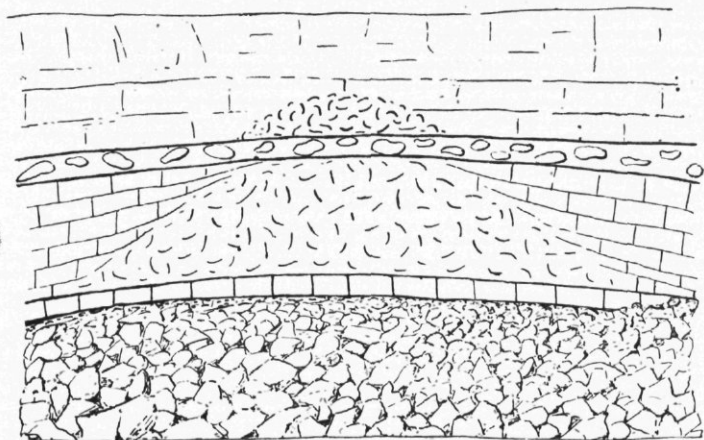


Fig. 7. — Carrière de la Northern Lime Company à Petoskey (Michigan). Petite structure massive composite chevauchant les séries de Charlevoix (masquée par les éboulis) et de Petoskey.

divisé horizontalement en 3 sections par deux petits bancs qui se poursuivent sans interruption dans les strates calcaires envasantes. Le banc inférieur, qui, suivant Pohl, marque le passage de la série de Charlevoix à la série de Petoskey, est constitué de calcaire zonaire et de schistes charbonneux dans lesquels on trouverait des traces de végétaux. Un banc à *Stromatopores* nodulaires souligne la seconde interruption dans le développement du récif.

La section inférieure du « récif » était entièrement masquée par des éboulis au moment de notre visite. La section moyenne est constituée par un calcaire massif brun clair dolomitique, enrobant de nombreux *Stromatopores* en coupole, en partie en position de vie, des *Favosites* massifs et branchus, des *Rugueux* solitaires ou en colonies et des *Brachiopodes*. Quant au segment supérieur, il est réduit à peu de chose et inaccessible. Autant que l'on peut voir, il est aussi constitué de *Stromatopores*.

Le banc à *Stromatopores* corrodés et roulés, en accumulation détritique, qui sépare les deux sections supérieures du « récif » est intéressant à suivre de part et d'autre de celui-ci. Il s'épaissit généralement en s'écartant, atteignant plusieurs mètres de puissance par endroits, et il ravine, parfois très profondément, les bancs sous-jacents qui montrent, au moins localement, une stratification d'allure entrecroisée, faite d'un réseau très complexe de veinules, qui s'affirme jusqu'à l'échelle microscopique.

La présence de bancs stratifiés sectionnant le récif en tranches horizontales ne conduit pas nécessairement à admettre des discordances stratigraphiques, car il ne faut pas perdre de vue que l'on se trouve ici sur le bord d'un « récif » comme le montrent les colonies retournées et le développement du conglomérat de *Stromatopores*. Plus significative serait l'existence de végétaux dans la passe schisteuse qui sépare les deux premières sections du récif, mais il serait souhaitable d'avoir à ce sujet plus de précision. Le développement du conglomérat organogène qui poursuit l'hiatus des deux segments supérieurs et le ravinement profond qui l'accompagne méritent sans aucun doute d'être soulignés. L'étendue sur laquelle on observe ce conglomérat, plusieurs centaines de mètres, et son épaisseur permettent, sans préjuger de ce qu'on ne voit pas, de conclure à un phénomène d'érosion important ayant décapité un « récif » de proportions considérables.

D. « Récifs » du Tully (Dévonien supérieur ?) de New-York. —

Les couches de Tully, telles qu'elles apparaissent dans la partie centrale de l'Etat de New-York et spécialement dans la section type à l'Est de Tully, sont constituées entièrement de bancs calcaires, généralement argileux, parfois arénacés. La partie supérieure, le West-Brook member, contient souvent des Polypiers, mais qui ne dénotent pas spécialement des conditions « récifales ». Les formations massives dues à l'exubérance de vie corallienne ou d'autres organismes ne sont pas d'occurrence commune. Le Professeur Burnett Smith m'en a montré une, à environ 2 km. au S.-E. de Borodino (New-York), dans un groupe de trois carrières abandonnées. La plus méridionale de celles-ci met à jour une bonne section. Nous en donnons ci-dessous un croquis aussi fidèle que possible.

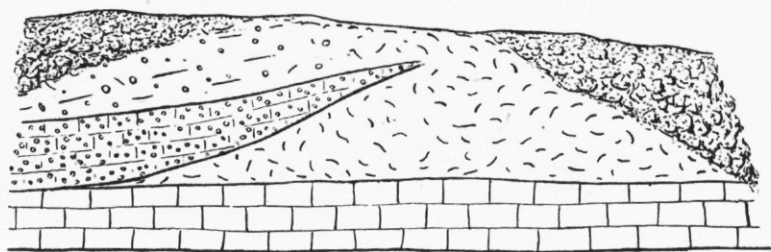


Fig. 4. — Section d'un « récif » du Tully, exposée dans une carrière abandonnée, 2 km. au S.-E. de Borodino (N.-Y.). L'amas organogène repose sur les strates calcaires d'Apulia.

Sur les strates régulières et horizontales d'Apulia, s'est édifiée une lentille de calcaire gris-bleu massif à cassure irrégulière, presque uniquement caractérisé par des *Syringopora* avec quelques Brachiopodes (*Hypothiridina*) et des Crinoïdes peu nombreux, empâtés dans un ciment microcristallin ne contenant que peu de débris (Crinoïdes et spicules de Spongiaires relativement nombreux). Sur le flanc Nord, quelques bancs bien stratifiés, d'une richesse inouïe en débris de Crinoïdes, au contact vers leur base avec le calcaire d'Apulia, viennent se relever et se terminer en sifflet sur la masse à *Syringopora*. Au-dessus de ces bancs, le reste de la paroi est constitué par un calcaire, crinoïdique encore mais beaucoup moins, mal stratifié; il se joint au sommet de la lentille à *Syringopora* dont il semble être une extension. C'est ainsi que le conçoit le Dr Burnett Smith qui y voit une recrudescence de l'activité du récif. Les caractères pétrographiques ne sont cependant plus exactement les mêmes.

III. Remarques générales sur les « récifs » décrits.

Parmi les « récifs » que nous venons de décrire, seuls celui de Staghorn Point et ceux de la vallée du Niagara constituent des types aberrants. Les autres se rattachent au type architectural généralement réalisé dans le Paléozoïque; ceux de l'Indiana représentent cependant une variante assez nettement caractérisée.

a) Le « récif » de *Staghorn Point* s'écarte nettement de tous les autres par sa structure, les organismes constituants et la nature du ciment. Il ne se présente pas en lentille massive renflée, comme c'est le cas pour les autres, mais en couche peu épaisse et de grande étendue. Il s'apparente par là aux biostromes de E. R. Cumings. Les organismes constituants, extraordinairement abondants sans doute, ne sont cependant pas du type des constructeurs de « récifs ». Ce sont, en très grosse majorité, des Tétracoralliaires solitaires. Enfin, le ciment qui les relie n'a pas du tout la composition ni la structure qu'on lui connaît dans les dômes massifs. Ce n'est pas un hachis plus ou moins recristallisé d'organismes, un sable entièrement organogène provenant de la désagrégation des animaux constructeurs, mais une pâte argilo-calcareuse étrangère, la vase de sédimentation générale.

Ces caractères ne permettent pas d'assimiler l'amas organogène de *Staghorn Point* aux structures lenticulaires en dômes qu'on regarde habituellement comme des récifs.

En se basant sur ce qu'on voit au voisinage immédiat de certains de ceux-ci, à *Williamsville* par exemple, où les Rugueux solitaires abondent, on pourrait se demander si l'affleurement de *Staghorn Point* ne représente pas l'auréole d'un « récif » caché. L'absence de Brachiopodes et de bien d'autres organismes m'en fait douter fortement.

Je rapproche plutôt cette formation de certaines couches de notre Couvinien, riches en Polypiers. La très large prédominance des Rugueux solitaires vient peut-être de l'adaptation de ces Coraux à un milieu boueux, à moins que ce ne soit une question de profondeur. La présence de ripple-marks observées par mon charmant guide, le Dr Burnett Smith, n'est pas démonstrative. Il faudrait déterminer d'abord à quel genre de ripple-marks on a affaire. Même s'il s'agit de wave ripple-marks, on sait qu'on peut trouver celles-ci à des profondeurs relativement grandes. Quant à la stratification entrecroisée, signalée encore par le Dr B. Smith mais que je n'ai pas eu l'occasion d'observer, si elle est analogue

à celle que j'ai trouvée souvent dans les couches avoisinant les dômes « récifaux » et consiste en un réseau extrêmement complexe de veinules sillonnant la roche, elle ne peut être identifiée à la structure entrecroisée typique des sables de la côte.

b) *Les minuscules lentilles du Silurien de l'Etat de New-York (type de la vallée de Niagara)*, si elles ont l'allure générale des dômes typiques, s'en distinguent cependant par leur peu d'importance. Elles apparaissent comme un phénomène tout à fait local, sans incidence sur la sédimentation, se présentant au contraire plutôt comme de tout petits accidents dans celle-ci. Comme le montrent celles d'entre elles qui sont entièrement envasées dans le calcaire (voir C. J. Sarle, 1901, pl. XXVII, fig. 1, 2, 3 et pl. XXX, fig. 7), ce sont plutôt des noyaux amygdaloïdes. C'est sans doute en pensant à cette structure qu'il faut interpréter la surface déprimée du calcaire stratifié sous le petit noyau de la vallée du Niagara.

Il ne peut pas être question de rapprocher ces petites masses à bryozoaires des récifs actuels, même des chapeiros de la côte brésilienne, comme le proposait autrefois C. J. Sarle [1901, p. 295], qui ont une tout autre structure et qui restent subordonnés à un phénomène plus important qu'on n'aperçoit pas ici.

c) *Les « récifs » à collerette du Silurien de l'Indiana*, avec leur noyau massif et leurs « inclined beds », constituent un type bien défini. Nous n'en connaissons pas l'équivalent dans notre Dévonien. Le récif de Trélon (voir M. Lecompte, 1936, p. 40, fig. 3), en coupole stratifiée représentant peut-être une simple calotte sur un noyau massif qui n'est plus observable, rappelle d'une certaine manière ce genre de structure. Toutefois, les bancs ne s'amincissent pas vers l'extérieur comme c'est le cas dans les « récifs » de l'Indiana.

Il est hors de doute que les bancs inclinés qui s'appuient sur le noyau massif appartiennent encore à l'appareil « récifal ». Ils contiennent, en effet, la même faune et leur distinction avec les couches normales envasantes se marque, en outre, par l'absence des cherts qui caractérisent celles-ci. Leur interprétation n'est cependant pas facile. E. R. Cumings et R. R. Shrock les regardent comme le talus du récif proprement dit. Cela ne me paraît pas évident. Ce talus serait hors de proportion avec le « récif ». Les lentilles à *Acervularia* du Frasnien de l'Ardenne, qui dépassent souvent en dimension ces structures de l'Indiana,

n'ont que des talus insignifiants. En outre, si la faune de ces bancs a les caractères généraux de celle de la masse, elle n'est cependant pas strictement identique. A Bluffton, par exemple, les polypiers y sont bien plus nombreux que dans le cœur. A Wabash, les *Stromatactis* disparaissent progressivement en dehors du noyau massif. D'autre part, ces bancs imparfaits, malgré leur amincissement, ne se présentent pas comme un talus. Ils sont en harmonie avec les joints du noyau et avec l'allure des *Stromatactis*. Les bancs supérieurs, disjoints par les indentations des couches envasantes, qui paraissent bien contemporaines, ont l'allure d'une extension du « récif ». Si l'on tient compte que les joints apparaissent déjà dans le noyau et qu'ils sont de mieux en mieux marqués dans la collerette, n'est-il pas permis de penser qu'ils représentent divers états d'équilibre du « récif » ?

d) Les « récifs » dévoniens du Michigan et de New-York, sauf celui du Staghorn Point, réalisent le type le plus commun et le plus connu, aussi bien en Europe qu'en Amérique. Ce sont les dômes typiques de calcaire massif sur lesquels les couches envasantes, le plus souvent calcaires, bien différenciées, sauf au contact immédiat, viennent s'appuyer en s'amincissant ou dans lesquels, occasionnellement, elles s'indentent plus ou moins profondément, comme c'est le cas apparemment à Williamsville, dans les « récifs » siluriens de l'île de Gotland et, parfois, dans les « récifs » à Stromatopores du Frasnien moyen de l'Ardenne.

Nous n'avons pas eu l'occasion de retrouver le type des « récifs » rouges du sommet du Frasnien moyen de l'Ardenne, entièrement isolés dans des couches schisteuses.

Toutes ces structures, celles de Staghorn Point et, dans une certaine mesure, celles de la vallée du Niagara mises à part, relèvent du même phénomène, le même aussi qui présida à la formation des « récifs » dévoniens de l'Ardenne. Malgré l'une ou l'autre variante, on peut en fixer les caractéristiques par quelques grands traits et en discuter l'origine sur la même base.

La plus grande partie de leur masse est constituée principalement de Polypiers et de Stromatopores, empâtés dans un ciment microcristallin abondant, tandis que les parties périphériques et la phase terminale sont, comme dans nos récifs de l'Ardenne, presque régulièrement crinoïdiques et à pâte plus grossière. La présence de cette phase crinoïdique est un des caractères les plus constants des « récifs » paléozoïques et sans doute à retenir pour

l'interprétation de ces structures. Sauf sur les bords, les organismes constructeurs sont généralement en place : il ne s'agit donc pas d'accumulations. Ils sont, dans l'ensemble, de modeste taille ; les colonies les plus volumineuses sont localisées dans les parties marginales.

L'absence d'Algues et de Spongiaires, ou du moins leur rareté (nous n'avons relevé des spicules de Spongiaires que dans le seul « récif » de Borodino), et le rôle tout à fait mineur des Brachiopodes distinguent très nettement ces « récifs » de ceux du Frasnien de l'Ardenne. Signalons encore, en contraste avec ceux-ci, le rôle important des *Favosites* et, par contre, l'absence d'*Alveolites*, mais ceci est une question stratigraphique, les *Favosites*, abondants dans le Dévonien moyen, cédant la place aux *Alveolites* dans le Dévonien supérieur.

La pâte recristallisée, abondante, laisse généralement reconnaître un hachis d'organismes, parmi lesquels il semble que les Bryozoaires soient largement prédominants. Ceux-ci restent d'ailleurs très abondants dans la partie crinoïdique périphérique comme on peut le voir dans la lame que nous figurons (Pl. IV, fig. 1-1 a). Les Coraux ne paraissent pas avoir fourni une part importante à ce matériel détritique. L'abondance de cette pâte, dans laquelle les véritables constructeurs n'ont qu'un rôle minime et ne se montrent pas attaqués par des organismes perforants, pose un problème intéressant pour la comparaison avec les récifs actuels. Le cas du récif de Williamsville, où les organismes sont extrêmement nombreux et le ciment peu important, ne doit pas faire illusion, car les observations se limitent à l'extrême bordure du « récif ».

La diagenèse, sauf en ce qui concerne la dolomitisation, n'a généralement affecté que le ciment. Elle a parfois été suivie, dans les parties crinoïdiques plus grossières, d'une seconde recristallisation, rapide semble-t-il, de caractère granoblastique, qui fait apparaître clairement, dans les lames minces, la composition essentiellement organogène de la roche (voir Pl. IV, fig. 1-1 a). La dolomitisation est généralement plus poussée que dans nos « récifs ». Elle est particulièrement importante dans les récifs siluriens de l'Indiana. Elle n'a pas affecté les *Stromatolites* et ceci démontre que ces rubans de calcite ont été constitués très rapidement.

Bien qu'il n'ait pas eu sur la sédimentation générale l'incidence qu'on pourrait attendre, il apparaît néanmoins que le

phénomène qui est à l'origine de ces dômes massifs est important, du moins dans le Silurien de l'Indiana et le Dévonien moyen du Michigan. Les deux carrières d'Alpena par exemple, qui en exposent toute une série, le montrent clairement et ceci est une observation intéressante qui échappe généralement dans nos formations plissées de l'Ardenne. Faut-il, pour cela, admettre, avec les géologues américains, qu'ils constituaient, au cours de ces deux époques, de véritables récifs-barrières ? Au sens où l'on entend actuellement les récifs-barrières, cela ne s'impose pas ; j'y reviendrai plus loin.

IV. Essai de comparaison avec les récifs actuels.

Les dômes de calcaire massif, corallien ou non, du genre de ceux que je viens de décrire, et que l'on retrouve dans les diverses formations géologiques depuis le Cambrien, aussi bien en Europe qu'en Amérique, sont généralement considérés comme l'équivalent des récifs coralliens actuels. Que faut-il penser de cette assimilation ?

Les recherches que je poursuis depuis plusieurs années déjà sur les « récifs » dévoniens de l'Ardenne et les éléments de comparaison recueillis, la saison dernière, tant sur les dômes paléozoïques des Etats-Unis que sur les récifs coralliens actuels de Floride et des îles Bermudes, me permettent de dégager quelques traits essentiels du problème et d'apporter à son éclaircissement quelques éléments. Il est à peine besoin de dire que je ne considère pas cette expérience comme suffisante pour envisager la question dans toute son ampleur. Il reste, au préalable, bien des points à élucider et des recherches minutieuses à poursuivre, tant en ce qui concerne les récifs actuels qu'en ce qui regarde les structures des diverses époques géologiques qui leur ont été assimilées. Dans la comparaison qui suit, je me bornerai à envisager les structures en dômes du Paléozoïque.

Ayant eu l'occasion de passer quelque temps sur des récifs coralliens actuels, en Floride et aux Iles Bermudes, je me suis étonné — est-ce à raison ? — que l'on eût si facilement admis leur identité avec les lentilles de calcaire massif, plus ou moins corallien, du Paléozoïque. Je recherche en vain dans ceux-ci l'image que j'ai emportée de ma visite dans les eaux tropicales. Cette impression ne m'est d'ailleurs pas particulière ; elle m'a

été confirmée par divers spécialistes bien familiarisés avec les structures paléozoïques. Les géologues ne s'en sont-ils pas trop exclusivement rapportés aux définitions des biologistes ? Ceux-ci sont trop naturellement enclins à voir un récif là où ils reconnaissent un épanouissement coralligène.

En fait, ceux qui ont tenté de justifier le rapprochement ont généralement restreint leur base de discussion aux Coraux et ont étendu aux milieux fossiles les conditions que ces organismes exigent dans les récifs actuels. Ainsi, par exemple, a fait T. W. Vaughan, le savant spécialiste américain, dont la conclusion d'un travail déjà ancien vaut d'être citée en entier : « All the » data obtainable from various sources indicate that the Paleozoic coral reefs were formed under conditions similar to those » under which recent reef corals live. The conclusions may be » summarized as follows :

- » (a) Depth, maximum, 25 fathoms ; light, strong.
- » (b) Temperature, annual minimum not lower than between » 60 and 70 degrees Fahrenheit and probably above 70 degrees » Fahrenheit.
- » (c) Water, agitated and circulating.
- » (d) Bottom, clean or relatively free from deposits of silt.
- » (e) Composition of the oceanic salts, probably the same as » in the ocean of the present day.
- » (f) Specific gravity of the oceanic waters, probably about » as in the ocean of today. Certainly the specific gravity was » high enough to furnish the large quantities of calcium salts » demanded by the reef organisms for the formation of their skeletons. » (1).

Plusieurs points de cette conclusion demanderaient une discussion serrée. Contentons-nous, pour l'instant, de remarquer qu'il n'est pas si naturel de croire, comme le dit l'auteur dans le cours de son travail, que les affinités zoologiques, la similitude des formes végétatives et les résultats semblables de l'activité physiologique autorisent à conclure que les Cœlentérés paléozoïques ont vécu dans des conditions de profondeur analogues à celles dans lesquelles vivent les Coraux actuels. Les Tabulés et les Tétracoralliaires qui se développaient dans les mers paléozoïques ont fait place, de nos jours, à des Coraux de structure bien

(1) Vaughan, 1911, pp. 251-252.

différente. Et qui peut affirmer que l'association symbiotique des Zooxanthelles aux Coraux, qui règle dans une certaine mesure, semble-t-il, les conditions bathymétriques de ceux-ci, est de date si ancienne ?

Mais le plus grave reproche à faire à une argumentation de ce genre c'est de négliger de nombreux facteurs qui font du problème récifal une question si complexe. Il n'est question ni de la morphologie des récifs, ni des phénomènes qui règlent leur évolution et leur développement en surface, ni de l'adaptation des formes, ni du problème sédimentaire subordonné, ni des caractéristiques tectoniques des bassins.

Généralement, d'ailleurs, le rapprochement est plus imparfait encore. Cela tient, en partie, à l'imprécision des données sur la genèse et la structure intime des récifs coralliens actuels. Après les innombrables recherches et l'énorme littérature qu'ont suscitées les idées de Darwin, et dont la contribution à la connaissance des récifs actuels ne saurait être sous-estimée, il est étonnant de constater l'absence de données précises sur la profondeur à laquelle peuvent se développer les récifs coralliens. On en est encore réduit à des avis, qui divergent d'ailleurs singulièrement. On ne connaît pour ainsi dire rien des premières étapes de leur développement et leur évolution, qui n'a cessé de passionner l'opinion scientifique, n'a été étudiée qu'à travers le prisme de quelques grandes hypothèses. Les sondages qui pourraient si utilement nous renseigner ont été parcimonieusement exécutés et leur emplacement, trop souvent, est discutable.

A défaut de ces données, il n'est pas sans importance de préciser ce qu'il faut entendre par récif, en se basant sur les connaissances actuelles. E. R. Cumings et R. R. Shrock (1928), reprochant au terme *récif* d'être appliqué à des choses différentes, spécialement dans le langage des navigateurs, ont proposé de le remplacer par le terme *bioherm* « for reeflike, moundlike, lens-like or otherwise circumscribed structures of strictly organic origin, embedded in rocks of different lithology », incluant dans cette définition aussi bien les structures anciennes que les récifs coralliens actuels. Sans doute faut-il louer l'intention qui a guidé les spécialistes américains, avec lesquels j'aimerais beaucoup me déclarer d'accord en raison de la dette de reconnaissance que j'ai contractée avec le premier d'entre eux, mais le nouveau terme ainsi défini laisse subsister l'imprécision et même l'aggrave dans une certaine mesure en embrassant à la fois des

structures anciennes discutables et diverses et les récifs coralliens actuels. Il importe assez peu de mettre les récifs coralliens à l'abri d'une confusion possible avec des roches à fleur d'eau, dangereuses pour la navigation mais totalement étrangères au phénomène corallien. Il est bien évident qu'une confusion de ce genre n'intéresse ni les géologues ni les biologistes. Ce qui importe davantage, c'est de définir le phénomène qu'on désigne actuellement sous le nom de récif corallien, de façon à voir s'il peut s'appliquer aux structures géologiques qu'on lui a rapportées. Une fois la mise au point faite, la création d'un terme nouveau peut s'imposer pour des cas bien précis, certaines structures fossiles par exemple.

Définir un récif corallien comme le fait, par exemple, l'éminent spécialiste T. W. Vaughan (1919, p. 238) « ... a ridge or mound of limestone, the upper surface of which lies, or lay at the time of its formations, near the level of the sea, and is predominantly composed of calcium carbonate secreted by organisms, of which the most important are corals », c'est un peu schématique.

Sans afficher la prétention de définir un phénomène dont certaines données essentielles nous échappent encore, il est possible d'en dégager les traits les plus caractéristiques et d'examiner ensuite si on les retrouve dans les structures fossiles. Evitant d'entrer dans une discussion détaillée qui serait sans doute bien utile mais qui ne s'impose pas dans le cadre de cette note, laissant de côté les grandes hypothèses qui dominent le problème des récifs coralliens actuels, je me bornerai à dégager la physionomie de ces derniers dans une série de traits rapides.

1. — Les bassins de sédimentation dans lesquels se développent les récifs actuels, à caractères structuraux très accentués, sont, malgré certaines oscillations, apparemment peu déformables.

En raison des conditions particulières exigées par les Coraux (profondeur, température, agitation et pureté des eaux, etc.), sur lesquelles nous ne croyons pas utile de nous étendre, les récifs ne peuvent, de ce fait, se développer qu'en des endroits rigoureusement déterminés. Leur évolution et leur structure sont ainsi assez étroitement imposées et aboutissent à un petit nombre de types : récifs frangeants, récifs-barrières, atolls, patchreefs ; les autres formes, de moindre importance, étant subordonnées à celles-ci. Sauf dans le premier cas, l'établissement corallien est discordant, sur une plate-forme de préparation sous-marine.

2. — Malgré ces conditions si particulières, le phénomène réci-

fal est un phénomène important contrôlant la sédimentation sur des aires souvent considérables.

3. — Quel que soit le type de récif envisagé, sa morphologie générale est nettement déterminée par les courants marins et atmosphériques et elle se caractérise toujours par une disharmonie.

4. — Le développement en surface se traduit par une zonation, annulaire ou longitudinale, qui se marque dans la sculpture de l'appareil récifal, la distribution et la vigueur des organismes constructeurs et la répartition des produits de désagrégation. Cette structure est suffisamment connue et a fait l'objet d'assez de descriptions minutieuses, dont quelques-unes peuvent être trouvées dans les ouvrages signalés dans notre liste bibliographique, pour qu'il soit nécessaire de la rappeler ici. L'activité constructive des organismes est la plus vigoureuse à la bordure externe de l'appareil récifal, là où les courants marins approvisionneurs sont plus riches en nourriture et où les brisants éliminent facilement le sédiment qui contrarie les Coraux dans leur développement. La désintégration par les organismes perforants y étant beaucoup moins importante que dans les eaux plus calmes, c'est là que le développement vertical du récif atteint le premier sa limite supérieure ; c'est là aussi surtout que le récif aura certaine chance d'être retrouvé en position de vie après l'envasement.

5. — Dans le milieu très hétérogène que réalise un récif, particulièrement dans sa phase de maturité, les organismes, spécialement les Coraux, sont remarquablement adaptés à des conditions spéciales, très localisées, dues à la profondeur, l'action des vagues, l'envasement, l'exposition à marée basse, etc. Cette adaptation à un milieu défini dans des limites très étroites est extraordinaire et constitue l'une des plus curieuses figures d'un récif corallien actuel. Les nombreux exemples qui en ont été décrits par la plupart des auteurs qui se sont occupés des récifs me dispensent d'en exposer les particularités dans le détail. J'en ai récemment signalé brièvement un cas très net à Tortugas (Floride) [1937]. On trouve ainsi, d'une façon générale, des formes massives vigoureuses dans la zone des brisants, des formes branchues puissamment ramifiées et bien dégagées dans les parties plus profondes mais abritées, des formes plates ou des espèces branchues de petite taille, à rameaux renflés et compacts, dans les parties périphériques des lagunes soumises à l'ensablement, pour ne parler que des milieux les plus tranchés.

La lutte des espèces se traduit de façon différente dans chacun des milieux. Dans la zone des brisants, par exemple, où la défense est surtout dirigée contre l'action des vagues et des courants, on trouve un plus grand nombre d'espèces qu'ailleurs, mais représentées par un nombre modéré d'individus, tandis que, dans les eaux moins agitées plus près du rivage, les colonies sont plus développées et plus nombreuses, mais le nombre d'espèces plus restreint. D'une façon générale, suivant l'incidence des forces externes, la lutte se porte donc contre celles-ci ou se confine entre les espèces.

Ces adaptations et ces variations de milieux déterminent des associations fauniques très particulières, qu'on n'a d'ailleurs pas suffisamment mises en relief jusqu'ici.

6. — Il est à peine besoin de rappeler que les Coraux ne sont pas les seuls organismes constructeurs et, si l'on se fie aux descriptions, souvent même pas les principaux. Il faut toutefois se méfier de ces conclusions basées sur l'examen des sables et des boues et qui ne tiennent pas compte de la proportion de colonies coralliennes plus ou moins conservées. Quoi qu'il en soit, on peut souligner le rôle des Algues calcaires, des Mollusques, des Alcyonnaires et des Foraminifères.

7. — L'activité organique est sans cesse battue en brèche et généralement contre-balancée, quand elle n'est pas surpassée, par une désagrégation rapide, à l'intervention principale des organismes perforants (les Vers, les Mollusques, les Echinodermes). La sédimentation sableuse qui en résulte est complétée par une abondante précipitation de carbonate calcique, due à l'action photosynthétique des plantes marines et, parfois aussi, le dépôt d'oolithes sur de vastes étendues.

8. — La profondeur des récifs, considérés dans une phase de stabilité, est réglée en partie par l'association symbiotique Coraux-Zooxanthelles, mais, ainsi que nous l'avons dit, on manque de données précises à ce sujet.

Le développement vertical, dans les parties actives du récif, sauf envasement contre lequel les Coraux se défendent assez facilement, est limité par le niveau des eaux à marée basse. Son terme s'accuse très nettement par les surfaces nécrosées au sommet des colonies. Il est naturellement sujet aux oscillations pouvant modifier l'état d'équilibre. Mais le développement de l'appareil récifal pris dans son ensemble, si l'on tient compte des parties désagrégées, ne se limite pas à la surface de l'eau.

9. — Dans la phase adulte, en effet, et plus spécialement dans la phase sénile, les sables grossiers provenant de la désagrégation des organismes constructeurs, s'amoncellent sur les parties les plus évoluées, abritées, et constituent des îles sableuses dont l'importance est parfois appréciable, comme aux Îles Bermudes, mais qui, généralement, restent basses. Les keys de Floride en sont le type classique. Le récif actif est déporté vers l'extérieur tandis que les lagunes, à fond plat et remarquablement uniforme, se comblent de sédiment plus fin.

10. — Dans la plus grande partie de la ceinture corallienne, l'évolution naturelle des récifs est fréquemment troublée par les ouragans qui détruisent les espèces branchues, roulent des colonies marines de dimensions énormes sur les parties abritées où elles constituent les « têtes de nègres », ensablent certaines parties, rasant parfois les îles lentement constituées, distribuent très loin la boue fine qu'ils ont soulevée.

11. — Il faudrait encore, pour achever de caractériser les récifs actuels, parler des phénomènes de consolidation, de dissolution, d'équilibre calco-magnésien, mais on ne possède là-dessus que des données imprécises ou discutables.

Ces précisions rappelées, voyons jusqu'à quel point nous retrouvons ces caractères dans les structures organogènes paléozoïques généralement rapportées aux récifs.

MORPHOLOGIE. — Les masses lenticulaires relativement modestes du Paléozoïque, telles que celles que nous avons décrites, en dômes indentés par les couches envasantes ou en lentilles hémisphériques presque parfaites, comme celles du sommet du Frasnien moyen de l'Ardenne par exemple, n'ont rien de commun avec les puissants appareils récifaux actuels de structure bien plus complexe. Nulle part, on ne retrouve des coins allongés qui pourraient correspondre aux actuels récifs frangeants. Dans lesquels de ces amas pourrait-on reconnaître un récif-barrière ou des atolls, qui représentent plus de 90 p. c. des structures coralliennes de l'Indo-Pacifique ? Ils ne ressemblent pas davantage aux patchreefs minutieusement décrits par Umbgrove [1928] dans la baie de Batavia, qui marquent encore une structure zonaire progressivement réalisée autour d'une accumulation sableuse, ni aux Table-reefs de R. Tayama [1935]. Il est difficile d'y voir, ainsi qu'on l'a fait parfois, des amas appartenant à une barrière étendue. Bien que les barrières actuelles ne soient pas nécessaire-

ment des crêtes continues, il ne semble pas qu'on puisse en reconnaître l'équivalent dans les structures paléozoïques complètes par elles-mêmes et ne montrant ni le phénomène d'ensemble actuel ni les relations avec la côte. Des appareils aussi simples et aussi réguliers ne peuvent avoir été forgés, comme les récifs actuels, sous l'influence des courants marins et atmosphériques.

SOUBASSEMENT ET BASSIN SÉDIMENTAIRE. — Toutes ces structures sont concordantes sur les couches sédimentaires sous-jacentes. Nulle part, il n'y a d'indices qu'elles se soient formées sur une plate-forme préparée ni même sur la pente immédiatement avoisinant une côte. Elles se sont constituées sur le fond géosynclinal uniforme et c'est là sans doute un facteur qui a été trop négligé dans la discussion. Il semble que l'on ait trop oublié que la croûte terrestre ait changé considérablement d'aspect depuis les temps reculés et qu'elle soit devenue moins plastique. Le facteur tectonique a pour ainsi dire été méconnu. Les Biologistes sont forcément des statiques. Le mérite d'un spécialiste comme Daly, quelle que soit l'opinion qu'on puisse se faire de sa théorie glaciaire, a été de dégager les phénomènes sédimentaires d'autres influences dont on avait sans aucun doute trop peu tenu compte.

IMPORTANCE DU PHÉNOMÈNE. — Il est incontestable que le phénomène organogène qui est à l'origine de ces structures, du moins dans certains épisodes géologiques, est un phénomène important. Les observations de la Thunder Bay Quarry (Alpena-Michigan) rapportées plus haut suffiraient seules à le démontrer. Toutefois, elles n'ont rien de comparable avec le phénomène récifal actuel qui contrôle une sédimentation calcaire sur d'énormes étendues. Les structures paléozoïques apparaissent comme des accidents dans la sédimentation générale qui, sous réserve de recherches plus approfondies, ne leur semble pas subordonnée (1) et ne l'est manifestement pas dans les cas d'envasement terrigène.

La masse calcaire des couches envasantes représente un volume trop considérable pour être interprétée, ainsi que l'a proposé Grabau (1903, pp. 347-348), comme l'accumulation des boues fines chassées du récif, notamment par les ouragans, d'autant plus que la désagrégation sur celui-ci se limitait à l'action des

(1) La faune corallienne n'est pas exclue pour cela des strates envasantes. Dans le calcaire F2 g de l'Ardenne, plusieurs couches sont riches en Polypiers, branchus surtout, et en Stromatopores tandis que les « récifs » F2 h subordonnés ne contiennent que des Stromatopores et de rares *Alveolites* massifs.

vagues et que la précipitation ne semble pas y avoir joué un rôle important. Certains auteurs ont bien tenté de reconnaître dans les « récifs » paléozoïques un phénomène du même ordre que celui de nos mers tropicales actuelles, mais sans apporter autre chose que des vues hâtives. Grabau, par exemple [1932, pp. 405-407], essayant d'expliquer la morphologie de la pointe de Floride, — avec les Everglades, la baie de Floride, les keys, le Hawk Channel, l'alignement corallien, — par le déplacement des récifs vers le large, le comblement des lagunes extérieures par le sédiment calcaire et l'apparition, dans la lagune interne, d'un nouveau type de sédimentation, suivi d'une phase continentale responsable des actuels Everglades, retrouverait des conditions exactement semblables dans l'Onondaga de New-York et de Pennsylvanie. Pendant cette période, le phénomène récifal progresse vers le Nord-Est tandis que les boues noires de Marcellus le remplacent au Sud et à l'Est. Mais, outre que son hypothèse en ce qui regarde l'actuelle morphologie de la Floride méridionale est assez sujette à caution, l'analogie des schistes de Marcellus avec son mud flat type, pas plus que les rapports de cette formation avec l'Onondaga, ne s'imposent. Au surplus, les « récifs » de l'Onondaga n'ont ni l'allure ni la continuité des récifs de Floride : il n'y a pas de traces de formations lagunaires subordonnées, pas plus que de structures comparables, par leur constitution et leurs relations, aux keys de Floride.

Aux diverses barrières qu'on a voulu voir pendant le Silurien et le Dévonien dans le Nord-Est des Etats-Unis, on peut faire des objections semblables : morphologie tout à fait différente, sédimentation envasante non subordonnée, relations au continent non manifestes, absence de lagunes, etc. Employer le terme de barrière dans le sens d'un alignement, même très étendu, de petites lentilles bien isolées, c'est créer inutilement une confusion.

Quelle que soit la fréquence de ces dômes organogènes, leur développement relativement minime et leur isolement dans des sédiments calcaires ou purement schisteux (« récifs » F2. j. de l'Ardenne) qu'ils n'influencent pas, dénotent des possibilités plus restreintes, dans le développement de l'ensemencement corallien, que celles qui s'offrent dans les mers tropicales au voisinage des côtes ou sur des plates-formes sous-marines peu profondes. Et cependant, le fond plus uniforme se prêtait beaucoup mieux au développement en surface.

ORGANISMES CONSTRUCTEURS. — Ne considérons d'abord que les structures conservées, dont la plupart, sauf sur les flancs, sont en position de vie.

Les constructeurs essentiels peuvent être exclusivement, ou presque, les Coraux, les Stromatopores, les Bryozoaires, les Crinoïdes, les Brachiopodes, les Spongiaires. Généralement, ces divers organismes collaborent à l'édification, avec une prédominance de l'un ou de l'autre. Le type le plus fréquent voit la prépondérance des Polypiers et des Stromatopores.

Les Polypiers (Tabulés et Tétracoralliaires), il n'est pas inutile de le souligner, appartiennent à des groupes depuis longtemps éteints. Il faut donc fortement se méfier lorsqu'on étend à ces organismes les conditions qui régissent le développement des Coraux actuels. N'est-il pas permis de se demander si, précisément, le passage de ces ancêtres aux Coraux du type actuel ne correspond pas, à certain moment, à un changement de conditions ? De la présence de ces Coraux d'une tout autre architecture, et en se basant sur les représentants actuels, conclure à des conditions bathymétriques très limitées, constitue un raisonnement dangereux s'il ne s'appuie pas sur d'autres considérations. La profondeur limite des récifs est actuellement régie, pour une part non exactement définie, par l'association symbiotique des Zooxanthelles aux Coraux. Mais de quand date cette association ? Il est curieux de constater que les Coraux se nourrissent principalement la nuit, ce qui est assez normal puisque la richesse planctonique de la couche supérieure des eaux est beaucoup plus grande pendant la nuit que pendant le jour, 5 à 6 fois sur la Grande Barrière, par exemple, comme l'a trouvé Colman (voir Yonge, 1929). Ces animaux consomment donc plus d'oxygène au moment où l'Algue est incapable de leur en fournir. Dans ces conditions, l'association des Algues aux Coraux a-t-elle bien le caractère fondamental qu'on a généralement admis ?

En regard des exubérantes colonies des récifs actuels, les Coraux de ces appareils anciens sont, d'une façon générale, remarquablement petits. Le plus grand nombre d'entre eux, si l'on se base sur le régime actuel de croissance — 15 à 25 mm. en moyenne par année pour les espèces massives, — n'ont vécu que quelques années, un petit nombre quelques dizaines d'années. Cela implique une sédimentation plus rapide ou une déficience de nourriture. Il semble, mais mes observations auraient besoin d'être complétées, que les colonies les plus grosses sont généralement localisées sur les flancs de ces lentilles.

La très forte majorité des Polypiers est représentée par des formes massives ou lamellaires, tandis que les Polypiers branchus, de petite taille, ne jouent qu'un rôle mineur. Sauf dans certaines lentilles (du Frasnien moyen de l'Ardenne par exemple), où l'on observe une certaine adaptation des Coraux à l'envasement terrigène sur les flancs du « récif », leur distribution est singulièrement uniforme dans toute la largeur et la hauteur de l'appareil. Il n'y a pas de traces de cette remarquable adaptation des Coraux aux conditions variées des récifs actuels — profondeur, envasement, courants, exposition à marée basse — se traduisant par une répartition zonaire très curieuse de formes bien spécialisées et des localisations bien définies. Et cependant ces particularités, en l'absence de l'action destructive des organismes perforants, avaient plus de chances de rester apparentes que de nos jours. Incontestablement, le fond sur lequel les Coraux paléozoïques se sont développés était plus uniforme, sensiblement horizontal, et le milieu, restreint, plus homogène.

Enfin, il faut encore remarquer que, si les colonies coralliennes pullulent, le nombre des espèces est limité et accuse une large prédominance de quelques-unes d'entre elles. Si l'on se reporte pour interpréter cette observation, aux caractères de la lutte pour la vie sur les récifs actuels, il faut en conclure que les Coraux paléozoïques se sont développés en eau peu agitée, où le combat était confiné entre les espèces.

Les Stromatopores, qui comptent parmi les principaux constructeurs, sont d'une interprétation difficile, étant donné qu'on est loin d'être fixé sur la nature de ces organismes.

Les Bryozoaires ne jouent généralement, si l'on ne considère que les structures bien conservées, qu'un rôle tout à fait secondaire, encore qu'ils soient remarquablement constants, mais ils ont généralement fait les frais de la pâte.

Les Algues sont rares et c'est là un sujet d'étonnement, particulièrement pour ceux qui sont persuadés que ces lentilles calcaires se sont constituées près de la surface des eaux, mais il ne faut pas perdre de vue que les Algues se décomposent rapidement dans le sédiment et que la recristallisation a pu les affecter particulièrement. Il n'est pas impossible que la richesse en magnésie de certains de ces calcaires massifs leur soit partiellement imputable. Mais tout cela, jusqu'à présent, n'est qu'hypothèse. Le seul fait à retenir, pour l'instant, est la rareté apparente des Algues.

Les Brachiopodes ont une importance très variable d'une masse à l'autre, mais leur rôle est rarement négligeable. Dans certaines phases même, il peut devenir prépondérant. A ma connaissance, les Brachiopodes ne sont guère abondants sur les récifs actuels; ils en sont même assez souvent totalement absents. Ces animaux ne sont guère largement représentés de nos jours et il est malheureusement assez difficile de dégager de leur comparaison avec les représentants fossiles des données bathymétriques.

Les Crinoïdes forment sans aucun doute un des traits les plus caractéristiques des lentilles organogènes paléozoïques. Dans toutes, ils interviennent pour une part plus ou moins importante et ils constituent presque généralement et pour ainsi dire exclusivement l'envasement terminal et latéral, qui se reconnaît parfois sur de grandes étendues et de fortes épaisseurs, avec les mêmes caractères, ce qui atteste que ces organismes ont vécu là en véritables prairies sous-marines. On ne retrouve rien de semblable dans les aires récifales actuelles. Sans doute, on observe bien, dans certaines d'entre elles, des Comatulides, mais les Encrines sont actuellement des formes d'eau profonde où elles vivent en pacages denses et étendus.

Par contre, il faut signaler la rareté, si pas l'absence, des *Oursins*, si fréquents dans les parties basses et abritées des récifs actuels.

Les Spongiaires sont très inégalement représentés. Les types les plus caractéristiques dans les récifs frasniens de l'Ardenne, où ils sont parfois abondants, appartiennent au genre *Receptaculites*, forme mal définie qui ne peut actuellement fournir aucune donnée pour l'interprétation du milieu. Mais on trouve par contre, dans la pâte, de nombreux spicules et fragments de réseaux dont une partie ont appartenu à des Hexactinellides, qui sont actuellement, pour la plupart, des formes d'eau profonde.

Remarquons encore la rareté des *Foraminifères* qui jouent dans les récifs actuels un rôle loin d'être négligeable (1).

L'absence d'*organismes perforants*, Vers et Mollusques, dont l'action sur les Coraux des récifs actuels est si profondément et si rapidement destructive, est aussi à relever. Les colonies coralliennes des dômes paléozoïques sont toujours remarquablement intactes. Elles ne montrent de traces ni d'Annelides tubicoles ni

(1) A Tortugas (Floride) par exemple, d'après E. M. Thorp (1935), ils représentent 9 p. c. des dépôts.

de perforations de Polychètes errantes, dont on connaît cependant l'existence par ailleurs dans le Dévonien, ni de Mollusques, pas plus qu'on n'y reconnaît les excavations si curieuses que creusent les Oursins dans les Coraux actuels. Il est possible que les conditions biologiques de l'époque suffisent à expliquer cette absence. Il est permis aussi de se demander si cela ne tient pas à une question de profondeur. Quand on connaît l'importance que tiennent ces organismes dans la désagrégation des masses coralliennes des récifs actuels, on se trouve là devant un facteur qui, à lui seul, change totalement la physionomie de la lutte de cette coalition d'animaux contre les agents de destruction.

La signification des *Trilobites*, des *Ostracodes* et des *Mollusques* qui complètent la faune de ces masses organogènes paléozoïques est difficile à dégager.

Les différences que nous venons de relever dans la faune sont sans doute imputables, en partie, à la formule biologique, particulière, de l'époque. Il est difficile, cependant, d'admettre que certaines divergences, comme la rareté des Algues, des Oursins, des Foraminifères, l'absence d'organismes perforants, le rôle des Crinoïdes, des Hexactinellides et, peut-être, des Brachiopodes, n'aient pas une signification de milieu, encore qu'il y ait lieu d'être prudent dans l'interprétation, en raison des caractères particuliers des mers paléozoïques.

Toute cette faune, il n'est pas inutile de le rappeler, ne manifeste pas la moindre localisation adaptative ni les associations si caractéristiques de nos récifs actuels.

CARACTÈRES PÉTROGRAPHIQUES. — La faune est empâtée dans un ciment qui a généralement été décrit comme un sable corallien, ce terme étant pris dans son acception la plus large de sable constitué par les produits de désagrégation des divers constructeurs du récif. Malgré la diagenèse qui l'affecte profondément, il apparaît, en effet, qu'il est presque entièrement d'origine organique. Son abondance et son degré de finesse, sauf sur les bords, où l'influence crinoïdique se marque, témoignent apparemment d'une action détritique plus intense que sur les récifs actuels. Mais il n'y a pas de classement comme sur ces derniers. Nulle part, il ne rappelle le sable grossier qui arrive à constituer les keys. Enfin, il semble qu'il ait surtout été formé aux dépens d'éléments fragiles; ce qu'on peut encore reconnaître ou deviner au microscope laisse croire que c'étaient surtout des Bryozoaires.

Le rôle des Algues, s'il a été important, comme c'est ordinairement le cas sur les récifs actuels, n'apparaît pas. Il n'est pas impossible, comme nous l'avons dit déjà, que la recristallisation ait plus fortement affecté ces organismes que les autres, mais rien jusqu'ici ne permet de l'établir. Ce qui paraît certain, c'est que les Coraux n'y ont qu'un rôle tout à fait secondaire, bien plus encore que sur les récifs actuels, et l'on ne s'en étonnera pas puisque l'action destructive des organismes perforants, qui est la principale cause de la désagrégation des masses coralliennes actuelles, ne s'est pas exercée à cette époque. Il apparaît donc que l'action détritique s'est manifestée d'une façon sensiblement différente.

Rien ne permet de reconnaître un dépôt fin attribuable à la précipitation chimique. Mais, comme, sur les récifs actuels, la précipitation du carbonate calcique est surtout due à l'action photosynthétique des plantes, les caractères de la flore paléozoïque pourraient à eux seuls expliquer qu'elle n'ait pu se produire dans une bien large mesure.

Enfin, on ne reconnaît rien, à proximité des dômes paléozoïques, qui rappelle les beach-rocks des actuelles keys ni les dépôts oolithiques qui jouent parfois un rôle considérable dans les aires récifales de nos jours. On s'est parfois référé aux oolithes des formations siluriennes enclavant les « récifs » de Gotland. Mais ces couches oolithiques, associées à un facies gréseux côtier, sont antérieures aux récifs. Ceux-ci sont eux-mêmes régulièrement en relation avec des sédiments crinoïdiques. Les caractères de l'échelle stratigraphique, dans laquelle ils sont inclus, conduisent à admettre des oscillations.

Il faudrait encore signaler l'envasement terrigène de certaines de ces lentilles, se marquant par des terrasses qui s'insinuent plus ou moins profondément dans la masse calcaire, mais c'est là un cas particulier sur lequel il n'est pas nécessaire d'insister.

STRUCTURE. — Le type architectural que réalisent les amas organogènes paléozoïques, comme leur morphologie générale, est remarquablement plus simple que celui des récifs actuels. Leur développement vertical est le plus souvent absolument uniforme. Il ne montre pas un épanouissement plus grand de la vie corallienne dans l'une quelconque de ses phases. Lorsque, comme c'est le cas particulièrement dans nos lentilles de calcaire rouge du sommet du Frasnien moyen de l'Ardenne, une certaine variation

se marque dans le développement ascendant de la masse, elle n'a rien de comparable à ce que nous enseigne l'étude des récifs actuels. On voit, par exemple, des éponges du type *Receptaculites* remplacer brusquement l'activité corallienne, pour céder la place ensuite aux Brachiopodes, avant que la vie corallienne reprenne à nouveau la prépondérance.

Envisagées dans leur développement en surface, ces masses ne montrent aucune zonation ni faunique, résultant des adaptations à un milieu hétérogène, ni structurale, traduisant l'incidence des facteurs physiques si puissamment accusés sur les récifs actuels. Rien qui rappelle les « Lithothamnium ridges », les lagunes, les milieux abrités, les côtés front au vent ou sous le vent, etc. Sur toute la tranche horizontale les mêmes conditions se vérifient. Quant à l'évolution de ces dômes, elle est tout aussi simple et aussi curieusement uniforme. Tous ont suivi la même histoire. Pas un n'accuse ce facies sénile si typique dans nos mers tropicales actuelles, avec les keys ou autres accumulations sableuses au-dessus de la surface de l'eau, le déplacement du récif vivant vers le large et les conséquences morphologiques que cela entraîne. Rien, même dans la partie supérieure de ces lentilles, ne montre la conséquence d'une exposition à l'air et d'un arrêt dans le développement vertical se traduisant par un aplanissement, une terrasse, ou une extension horizontale importante. On n'y observe pas ces colonies à tête nécrosée, qu'on devrait, dans ce cas, s'attendre à trouver, et qui n'auraient eu d'autre possibilité que de se développer en surface en formant ces larges plates-formes si caractéristiques, au voisinage du niveau de marée basse, dans les récifs actuels. Tout indique que ces masses n'ont pu réaliser une évolution naturelle et que leur développement a été régulièrement décroissant, comme si le milieu, la sédimentation par exemple, s'était montré de plus en plus néfaste. C'est sans doute cet envasement, peut-être avec le concours d'un changement brusque des conditions bathymétriques, qui mit généralement le point final à leur développement.

Il y a bien le cas du « récif » de Petoskey (voir p. 17-18) dont la poussée paraît avoir été réglée et arrêtée par l'affleurement à la surface de l'eau et nous avouons qu'il nous embarrasse, non que nous voudrions échapper à des conclusions qu'il imposerait, mais parce qu'il réalise un cas si unique, parmi le nombre considérable de dômes organogènes que nous avons eu l'occasion de voir et d'étudier, que nous nous méfions d'une interprétation trop hâ-

tive. Nous avons dû, pour notre part, l'examiner trop rapidement et dans de fort mauvaises conditions. L'affleurement à la surface de l'eau, si les recherches futures confirmaient qu'il faut s'arrêter à cette explication, a d'ailleurs eu lieu par saccades, dues à plusieurs oscillations successives, et n'est pas le résultat de l'évolution normale du « récif ».

RAPIDITÉ DE LA CROISSANCE DES « RÉCIFS ». — En l'absence des organismes perforants, la poussée des masses coralliennes paléozoïques était presque uniquement contrariée par la sédimentation. La prédominance de l'activité organique sur celle-ci s'affirme différemment, suivant les cas, par l'importance des talus plus ou moins conglomératiques et par le développement plus grand des colonies coralliennes marginalement. Ces caractères sont généralement en rapport avec l'importance de la masse construite.

CONDITIONS BATHYMÉTRIQUES. — La profondeur à laquelle se sont édifiées ces lentilles organogènes constitue l'une des questions les plus intéressantes à élucider, l'une des plus difficiles aussi.

Nos observations actuelles ne nous permettent pas d'apporter de précisions. Nous voudrions nous borner à mettre en garde contre certaines conclusions hâtives, généralement admises. On a souvent fait état de ripple-marks pour admettre la proximité de la surface de l'eau. Faut-il dire qu'il faudrait d'abord déterminer à quel genre de ripple-marks on a affaire ? Je n'ai pas eu moi-même l'occasion de faire les observations nécessaires à ce sujet. Même s'il s'agit de wave-ripple-marks, la présence de celles-ci ne donne pas d'indications précises sur les conditions bathymétriques, la profondeur à laquelle on peut les rencontrer étant très variable. Quant à la stratification entrecroisée qu'on a maintes fois signalée dans les calcaires envasants, j'ai dit déjà que cette structure n'avait rien de commun avec la stratification entrecroisée typique des facies côtiers. Elle demanderait une mise au point.

J'ai attiré l'attention, plus haut, sur la signification toute relative de la présence des Tabulés et des Tétracoralliaires. Ce qu'on sait de ces groupes actuellement éteints ne permet pas de conclure, à priori, à la proximité de la surface des eaux, d'autant que, ainsi que nous l'avons dit, le facteur qui règle les conditions bathymétriques des actuels constructeurs de récifs est peut-être d'acquisition relativement récente.

La présence d'Algues demande aussi à être interprétée avec beaucoup de prudence. D'abord, apparemment, leur rôle n'a pas été essentiel. Ensuite, leur signification bathymétrique est aussi relative. Elle varie d'une forme à l'autre. Les *Lithothamnium*, par exemple, sont signalés jusqu'à 120 m. de profondeur. Il ne faut pas perdre de vue non plus que les recherches récentes ont montré que la pénétration de la lumière était plus profonde, dans certaines conditions surtout, qu'on ne l'a longtemps supposé.

Bien plus démonstrative, à mon sens, serait l'existence de nécroses au sommet des colonies coralliennes. On observe bien, assez fréquemment même, dans l'épaisseur des colonies, des nécroses successives, dues manifestement au sédiment ou à des parasites (Stromatopores et Algues), mais jamais, jusqu'ici, je n'ai reconnu, et particulièrement dans les parties supérieures des dômes paléozoïques, ces larges nécroses, accompagnées des modifications architecturales qu'elles entraînent, si caractéristiques des plates-formes coralliennes dans les parties des récifs actuels exposées à marée basse.

Enfin, il y a lieu de rappeler ici l'absence de caractères séniles fixant, de manière certaine, la limite supérieure du développement des lentilles paléozoïques.

Conclusion.

Du parallèle qui vient d'être établi entre les « récifs » paléozoïques et les récifs coralliens actuels, je n'entends, pour l'instant, tirer aucune conclusion définitive. Il manque, pour cela, ainsi que je l'ai dit, des données essentielles sur la structure interne et sur la genèse des récifs coralliens de nos jours. Nous avons besoin surtout d'importantes précisions sur les structures fossiles, sur la signification de leur faune et sur la lithologie des couches envasantes.

Dans l'état présent de nos connaissances, les « récifs » paléozoïques se distinguent des récifs coralliens actuels par :

1. — leur soubassement, sensiblement horizontal, s'intégrant conformément au fonds géosynclinal et n'entraînant pas une localisation des ensemencements coralliens aussi étroite que de nos jours.
2. — l'importance moindre du phénomène, ne régissant pas, apparemment, la sédimentation mais s'y subordonnant.

3. — *leur morphologie* plus simple, harmonieuse, traduisant un état d'équilibre et excluant l'action des courants marins et atmosphériques, qui aboutissent à un développement inégal et à une répartition hétérogène des produits de désagré-gation.
4. — *leur structure* homogène, exempte de différenciations structurales.
5. — *leur développement vertical*, uniforme, ne témoignant pas de déplacement latéral.
6. — *leur extension horizontale* restreinte malgré un fond uni-forme favorable, d'autant plus limitée que les couches envasantes sont plus argileuses.
7. — *l'absence de phase sénile* se traduisant par la constitu-tion de keys, la formation de lagunes, de beach rocks, de dépôts oolithiques, de précipitation importante de carbo-nate calcique, de terrasses, de nécroses étendues au sommet des colonies coralliennes.
8. — *une action détritique*, dans l'ensemble, plus intense mais ne portant que sur des structures plus fragiles ou se désar-ticulant facilement et n'affectant les Coraux et autres con-structeurs résistants, comme les Stromatopores, que dans une mesure apparemment insignifiante.
9. — *le rôle nul des organismes perforants* dans la désagré-gation des masses coralliennes.
10. — *l'absence de classement* des produits de désagré-gation, les parties périphériques plus grossières reflétant l'in-fluence crinoïdique.
11. — *l'absence d'indices traduisant l'influence des ouragans*.
12. — *l'absence de manifestations adaptatives* importantes chez les Coraux.
13. — *la taille relativement réduite des organismes construc-teurs*.
14. — *la pauvreté des espèces coralliennes* pour un nombre con-sidérable de représentants.
15. — *une formule organique différente* se traduisant par la rareté apparente des Algues, des Foraminifères, des Our-sins, l'absence d'organismes perforants, le rôle majeur des Encrines soit dans l'appareil même soit dans ses parties périphériques ou envasantes, l'existence occasionnelle d'He-xactinellides, et peut-être aussi l'abondance des Brachio-podes.

De ces caractéristiques, avec les réserves faites précédemment, il paraît justifié d'admettre que les « récifs » paléozoïques se sont constitués :

1. *en dehors de l'influence des courants marins et atmosphériques*. Ainsi le postulent leur morphologie simple, régulière, harmonieuse, leur structure homogène, l'ensablement régulier et exempt de classement, la pauvreté des espèces.
2. — *dans un milieu plus uniforme*, sur un soubassement régulier, en l'occurrence le fond sédimentaire général, non isolé, par conséquent ne se prêtant pas, surtout si l'on tient compte du facteur précédent, aux adaptations fauniques et déterminant une évolution simple et semblable des appareils « récifaux ».
3. — *dans un milieu régulièrement sédimenté*, s'opposant à une extension énorme en surface, restreignant leur développement en hauteur, les empêchant, pour une part au moins, d'atteindre la sénilité, contrariant aussi le développement des colonies coralliennes, s'opposant à la formation de talus importants.
4. — *dans un milieu relativement calme*, permettant une pléthore de colonies mais limitant les espèces, s'opposant à l'étalement et au classement des produits de désagrégation, à l'abri de l'influence des ouragans, soumis néanmoins à l'influence des vagues comme le montrent les colonies retournées et endommagées dans les parties marginales ainsi que l'action détritique qui, toutefois, n'a eu raison que des structures fragiles ou se désarticulant aisément.
5. — *dans un milieu probablement instable*, s'approfondissant constamment, comme le montre la composition verticale souvent uniforme — ce qui n'exclut pas des oscillations —, ne permettant pas aux « récifs » d'atteindre la sénilité.

Quant à la profondeur à laquelle ils se sont édifiés, rien, actuellement, ne permet de l'établir. S'il faut admettre une limite compatible avec l'action mécanique des vagues, un certain nombre de caractères semblent bien indiquer qu'ils ne se sont pas constitués ni même terminés à proximité de la surface de l'eau. Tels sont : l'absence de traits morphologiques séniles, de différenciations sculpturales, de nécroses, de terrasses, d'adaptation, etc.

La présence et le rôle des Crinoïdes et, parfois, des Hexactinellides permettraient de croire à une profondeur relativement grande si l'on s'en référait aux conditions bathymétriques des représentants actuels de ces organismes. Mais il ne faut pas perdre de vue, lorsqu'on fait des rapprochements semblables, que les bassins sédimentaires paléozoïques étaient peu profonds et que, par conséquent, la répartition verticale des animaux était différente et leur adaptation moins nettement définie que de nos jours.

Si les recherches futures confirment la constance des caractères que nous venons d'exposer et si, en particulier, l'étude, éminemment souhaitable, des sédiments envasants aboutit, comme nous le croyons présentement, à distinguer nettement ceux-ci de l'appareil « récifal », la plupart des divergences avec les récifs actuels peuvent sans doute s'expliquer par l'intégration du soubassement au fonds géosynclinal uniforme et la sédimentation contemporaine contrariant et limitant le développement de la masse corallienne. Les autres différences, plus ou moins liées à une question de profondeur, qui demande encore à être précisée, trouvent peut-être déjà une interprétation assez satisfaisante dans l'approfondissement géosynclinal, généralement continu, empêchant les « récifs », avec le concours de la sédimentation, d'atteindre la surface de l'eau et la sénilité. La plus grande partie des divergences se ramènerait ainsi à une cause assez simple : les caractères physiographiques et tectoniques différents des bassins sédimentaires paléozoïques.

Est-il nécessaire, pour exprimer ces divergences, d'appliquer aux structures paléozoïques un autre terme que celui de récif ? Les biologistes répondront sans doute : non. Les géologues, attachant plus d'importance aux facteurs physiographiques, sédimentaires et tectoniques et pour éviter un rapprochement douteux, seront peut-être d'un autre avis. Le terme de *bioherm* proposé par E. R. Cumings et R. R. Shrock ne pourrait, dans ce cas, être retenu avec le sens que ces auteurs lui ont assigné, à moins qu'ils ne veuillent en limiter l'application aux structures paléozoïques, sur lesquelles ils se sont d'ailleurs basés. Mais il n'y a pas urgence en la matière. Mieux vaut poursuivre les recherches. C'est ce que je compte faire pour l'Ardenne. Je souhaite que beaucoup d'autres initiatives se fassent jour.

BIBLIOGRAPHIE

- COOPER, G. A., 1933-34. — Stratigraphy of the Hamilton group of Eastern New-York. — *American Journal of Science*, vol. XXVI, 537-551, vol. XXVII, p. 1-12.
- , 1935. — Studies of middle Devonian rocks in the Mid-West. — *Explorations and Field-Work of the Smithsonian Institution in 1935*.
- COOPER G. A. and STEWART WILLIAMS, J., 1935. — Tully formation of New-York. — *Bulletin of the Geological Society of America*, vol. 46, pp. 781-868, 1935.
- CUMINGS E. R. and SHROCK R. R., 1926. — The Silurian Coral reefs of Northern Indiana and their associated strata. — *Proceedings of the second Annual Meeting, Indiana Acad. Science*, vol. 36, 1926, pp. 71-85.
- , 1928. — Niagaran coral reefs of Indiana and adjacent states and their stratigraphic relations. — *Bulletin of the Geological Society of America*, vol. 39, pp. 579-620, 1928.
- , 1928. — The Geology of the Silurian Rocks of Northern Indiana. — *State of Indiana, The Department of Conservation. Division of Geology. Publication n° 75*, 1928.
- CUMINGS, E. R., 1932. — Reefs or Bioherms. — *Bulletin of the Geological Society of America*, vol. 43, pp. 331-352, 1932.
- DALY, R. A., 1915. — The Glacial control Theory of Coral Reefs. — *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 51, n° 4, pp. 155-251.
- , 1916. — A new test of the subsidence theory of the coral reefs. — *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 2, pp. 664-670.
- , 1917. — Origin of the living coral reefs. — *Scientia*, sér. II, vol. XXII, n. LXV-9, pp. 1-12.
- , 1919. — The coral-reef zone during and after the glacial Period. — *The American Journal of Science*, vol. XLVIII, pp. 136-159.
- DAVIS, W. M., 1928. — The Coral reef problem. — *American geographical Society. Special publication*, n° 9.
- DUPONT, E., 1881. — Sur l'origine des calcaires dévoniens de la Belgique. — *Bull. Acad. roy. de Belg.*, 3^e série, t. II, pp. 264-280.
- FENTON, M. A., 1931. — A Devonian Stromatoporoid Reef. — *The American Midland Naturalist*, vol. XII, n° 7, Januari 1931.
- GARDINER, J. St., 1931. — Coral reefs and atolls.
- GOLDMAN, M. J., 1926. — Proportions of detrital organic calcareous constituents and their chemical alteration in a reef sand from the Bahamas. — *Papers from the Department of Marine Biology of the Carnegie Institution of Washington*, vol. XXIII, n° 344, pp. 37-66.
- GOLDRING, W., 1931. — Handbook of Palaeontology for beginners and amateurs. — Part. 2 : *The formations. New-York State Museum. Handbook 10*.

- GRABAU, A. W., 1901. — Guide to the Geology and Paleontology of Niagara Falls and Vicinity. — *Bulletin of the Buffalo Society of Natural Science*, vol. VII, n° 1, 1901.
- , 1903. — Paleozoic coral reefs. — *Bulletin of the Geological Society of America*, vol. 14, pp. 337-352, pls. 47-48.
- , 1932. — Principles of Stratigraphy, New-York.
- HARTT, Ch. F., 1870. — Geology and physical geography of Brazil. — (*Thayer Expédition*, Boston, 1870).
- HOFFMEISTER, J. E. and LADD, H. S., 1935. — The foundations of Atolls: a discussion. — *The Journal of Geology*, vol. XLIII, n° 6, pp. 653-665.
- LADD, H. S. and HOFFMEISTER, J. E., 1936. — A criticism of the glacial control theory. — *The Journal of Geology*, vol. XLIV, n° 1, pp. 74-92.
- LECOMPTE, M., 1936. — Contribution à la connaissance des « récifs » du Frasnien de l'Ardenne. — *Mém. de l'Inst. Géolog. de l'Université de Louvain*, tome X, pp. 24-112, pl. VI-XI.
- , 1937. — Sur la présence de structures conservées dans des efflorescences cristallines du type « Stromatactis ». — *Bull. Mus. roy. Hist. nat. Belg.*, T. XIII, n° 15.
- , 1937. — Some observations in the coral reef Area of Tortugas. *Annual Report of the Tortugas Laboratory. Carnegie Institution of Washington for the year 1936*; 1937, pp. 96-97.
- MAILLIEUX, E. et DEMANET, F., 1928. — L'échelle stratigraphique des terrains primaires de la Belgique. — *Bull. Soc. Belge de Géol.*, t. XXXVIII, pp. 124-131, planches I-III.
- MAYER, A. G., 1914. — An Expedition to the Coral Reefs of Torres Straits. — *The Popular Science Monthly*, vol. LXXXV, n° 3, pp. 219-231.
- , 1918. — Ecology of the Murray Island Coral Reef. — *Papers from the Department of Marine Biology of the Carnegie Institution of Washington*, vol. IX, pp. 1-48, pl. 1-19.
- MUNTHER, H., 1910. — The Sequence of Strata in Southern Gotland. — *Geol. Fören. i Stockholm Förhandl.*, Bd. 32, H. 5, pp. 1-57.
- POHL, E. R., 1930. — The Middle Devonian Traverse Group of rocks in Michigan. A Summary of existing knowledge. — *Proceedings of the United States National Museum*, vol. 76, art. 14, pp. 1-34, pl. 1-2, 1930.
- CARLE, C. J., 1901. — Reef structures in Clinton and Niagara strata of Western New-York. — *The American Mineralogist*, November, 1901, pp. 282-299, pl. XXVII-XXXI.
- SMITH, B., 1912. — Observations of the structure of some coral beds in the Hamilton shale. — *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 1912, pp. 446-454, pl. X-XI.
- , 1915. — The structural relations of some Devonian shales in Central New-York. — *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, December 1915, pp. 561-569, pl. XXII.
- , 1935. — Geology and mineral resources of the Skaneateles Quadrangle. — *New-York State Museum Bulletin*, n° 300, November 1935.

- STEPHENSON, T. A. and STEPHENSON, A., 1928-29. — The structure and Ecology of Low Isles and other reefs. — *Great Barrier Reef Expedition* 1928-29, vol. III, n° 2.
- TAYAMA, R., 1935. — Table Reefs, a particular type of Coral Reefs. — *Proceedings of the Imperial Academy, Tokyo*, vol. XI, n° 7, pp. 269-271.
- THORP, E. R., 1936. — Calcareous shallow water deposits of Florida and the Bahamas. — *Papers from the Tortugas Laboratory of the Carnegie Institution of Washington*, vol. XXIX, pp. 37, 129, pl. 1-4.
- TWENHOFEL, W. H., 1926. — Treatise on sedimentation.
- UMBROGROVE, J. H. F., 1928. — De Korallenriffen in de Baai van Batavia. — *Dienst van den Mijnbouw in Nederlandsch Indië. — Wetenschappelijke mededeelingen*, n° 7, pp. 1-68, pl. 1-XXXIII.
- VAUGHAN, T. W., 1911. — Physical conditions under which paleozoic coral reefs were found. — *Bulletin of the Geological Society of America*, 22, 1911, pp. 238-252.
- , 1919. — Fossil corals from Central America, Cuba and Porto Rico, with an account of the american Tertiaire Pleistocene and Recent Coral reefs. — *U. S. Museum Bulletin*, n° 103, 1919.
- WARTHIN, A. S. and COOPER, G. A., 1934. — Devonian studies in southwestern Ontario and Michigan. — *Explorations and Field-Work of the Smithsonian Institution*, 1934, pp. 13-16.
- , 1935. — New formations names in the Michigan Devonian. — *Journal of the Washington Academy of Sciences*, vol. 25, n° 12, 15 December, 1935.
- WOOD-JONES, F., 1912. — Coral and Atolls.
- YONGE, C. M., 1929. — Final Report on the Great Barrier Reef Expedition. — *Nature*, 124, pp. 694-697.

ECHELLES STRATIGRAPHIQUES UTILISEES.

SILURIEN DE LA RÉGION DU NIAGARA (W. Goldring, 1931, p. 317,
(d'après différents auteurs).

Cayugan (Sil. sup.).

Cobleskill (dolomie) et Akron (dolomie).

Salina.

Bertie (dolomie).

Camillus (schistes).

Syracuse (couches salifères).

Vernon (schistes).

Pittsford (schistes).

Niagaran (Sil. moy.).

Lockport (dolomie) y compris la dolomie de Guelph.
Clinton.

Rochester (schistes).

Irondequoit (calcaire).

Reynales (calcaire).

Maplewood (schistes).

Thorold (grès).

Medinan (Sil. inf.).

Medina supérieur.

Queenston (schistes).

SILURIEN DE L'INDIANA (d'après E. R. Cumings et R. R. Shrock, 1928,
p. 53).

Cayugan.

Kenneth (calcaire).

Kokomo (calcaire).

Niagaran.

New Corydon (calcaire).

Huntington (dolomie).

Liston Creek (calcaire).

Mississinewa (schistes).

DÉVONIEN DE L'ÉTAT DE NEW-YORK. — Echelle générale.

Supérieur.

Chemung.
Portage.
Genesee.
Tully.

Moyen.

Hamilton.
Onondaga.

Inférieur.

Oriskanian.
Heldebergian.

TULLY, DANS LA SECTION TYPE (G. A. Cooper, 1935, p. 740).

West Brook member (calcaires noduleux et argileux foncés).
Apulia member (calcaires massifs, argileux ou gréseux).
Tinkers Falls member (calcaire argileux).

TRAVERSE GROUP (DÉVONIEN MOYEN) DU MICHIGAN, DANS LA RÉGION
D'ALPENA (d'après A. S. Wartin et G. A. Cooper, 1935).

Thunder Bay Stage.

Partridge Point (calcaires argileux et schistes calcareux).
Potter Farm (schistes et calcaires argileux).
Norway Point (calcaires et marne).

Alpena limestone stage (calcaires et marne).*Long Lake stage.*

Killians (calcaire et schistes).
Genshaw (calcaires et schistes calcareux).
Ferron Point (marnes et calcaires argileux).

*Rockport limestone.**Bell shale.*

TRAVERSE GROUP (DÉVONIEN MOYEN), DANS LA RÉGION DE PETOSKEY
(d'après E. R. Pohl, 1930).

Petoskey formation (calcaires et schistes).
Charlevoix stage (calcaires).
Gravel Point stage (schistes et calcaires).

FRASNIEN MOYEN, F2, DE L'ARDENNE (d'après E. MAILLIEUX, 1928).

F2 j, Récifs de marbre rouge à *Acervularia* et F2 i, schistes à
Reticularia pachyrhyncha.

- F2 h, Récifs de marbre gris à *Stromatopores* et F2 g, calcaire stratifié gris-bleu.
- F2 f, schistes gris à *Leiorhynchus megistanus*.
- F2 e, schistes verts à *Leiorhynchus formosus*.
- F2 d, Récifs de marbre rouge à *Disphyllum* et F2 c, schistes et calcaires stratifiés, noirâtres, à *Disphyllum*.
- F2 b, schistes verts à *Receptaculites Neptuni* et à *Spirifer bisinus*.
- F2 a, schistes calcaireux à *Spirifer orbelianus*.

EXPLICATION DES PLANCHES.

PLANCHE I. — Fig. 1. — Tranchée de l'ancien New-York Central Railroad, un demi-mile au Nord de l'Université de Niagara (Nord de Buffalo, N.-Y., Etats-Unis d'Amérique). — Petit « récif » dans les schistes de Rochester, reposant sur le calcaire d'Irondequoit qu'il déprime.

Fig. 2. — Station de Wabash (Indiana, E. U. A.) — Cœur du récif. On remarquera les joints qui en soulignent la structure.

Fig. 2 a. — Même point. — Flanc Nord du « récif ». La roche, ainsi que le montre la photographie, est bourrée de rubans cristallins digités, en tous points analogues aux *Stromatactis* des récifs dévoniens de la Belgique. La fumée les a recouverts d'un enduit noir qui les rend très apparents. Le personnage qui se trouve à gauche est le Prof. E. R. Cumings, de l'Université d'Indiana, à Bloomington, qui fut mon aimable guide dans l'Indiana.

Fig. 2 b. — Même point. Les *Stromatactis* vus de plus près.

PLANCHE II. — Fig. 1. — Williamsville, près de Buffalo (N.-Y., E. U. A.). — La carrière du Chant d'Oiseaux, qui a exploité le calcaire d'Onondaga au voisinage immédiat d'un gros « récif » montre sur diverses parois l'interpénétration du récif et des couches envasantes. La figure représente un de ces contacts. Dans les bancs de calcaire crinoïdique, se trouve entrelardée une épaisseur de calcaire très imparfaitement stratifié, encore riche en polypiers. M. J. Reimann, du Musée des Sciences de Buffalo, mon charmant pilote, indique le contact au moyen de son marteau.

Fig. 2. — « Récif » de Staghorn Point, sur la rive orientale du lac de Skaneateles (N.-Y., E. U. A.). Comme le montre la photographie, c'est un banc peu épais, entièrement bourré de polypiers dont la très grosse partie sont des *Rugueux* solitaires. Les lettres X-Y déterminent la limite supérieure du banc.

Fig. 2 a. — Le même banc vu de plus près.

Fig. 3. — Carrière de la Michigan Alkali Company, à Alpena (Michigan). Le niveau supérieur de la carrière montre trois lentilles de calcaire massif dans le niveau d'Alpena.

PLANCHE III. — Fig. 1. — Thunder Bay Quarry, près d'Alpena (Michigan, E. U. A.). « Récif » principal, au contact avec les couches envasantes du calcaire d'Alpena.

Fig. 1 a. — Détail du contact. Les bancs crinoïdiques du calcaire d'Alpena se relèvent sur le récif, mais le passage est assez indistinct.

Fig. 1 b. — Une autre paroi de la même carrière met en évidence l'allure lenticulaire de ces récifs. La partie gauche de la figure montre l'extrémité d'une de ces masses, coincée dans les couches stratifiées du calcaire d'Alpena.

Fig. 1 c. — Petit « récif » dans la même carrière, montrant bien les relations avec les couches envasantes.

PLANCHE IV. — Fig. 1. — Coupe dans le calcaire massif du « récif » principal de la Thunder Bay Quarry (Alpena-Michigan), vers les bords de la lentille. On remarquera la richesse crinoïdique de la pâte et la composition essentiellement organogène de celle-ci. Le ciment, rare, a été entièrement remplacé par de la calcite granoblastique. Les grosses structures empâtées sont des *Favosites* massifs. On reconnaît, en outre, l'un ou l'autre Polypier branchu, des Stromatopores et des coquilles ($\times 1$).

Fig. 1 a. — Partie agrandie de la lame précédente, mettant en évidence la constitution organogène de la pâte et la fréquence des Bryozoaires dans celle-ci. Il est à remarquer qu'au moins une partie de la calcite granoblastique, qui paraît jouer le rôle de ciment, provient de la recristallisation de pièces crinoïdiques, ainsi que le montre l'examen en lumière polarisée ($\times 6$).

TABLE DES MATIERES.

Introduction	1
I. Les « récifs » siluriens de l'Etat de New-York et de l'Indiana	3
A. « Récifs » de l'Etat de New-York	3
« Récif » de la vallée du Niagara	4
B. « Récifs » de l'Indiana	5
« Récif » de Bluffton	6
« Récif » de la station de Wabash	7
II. Les « récifs » dévoniens de l'Etat de New-York et du Michigan	9
A. « Récifs » de l'Onondaga de New-York	9
« Récif » de Williamsville	10
B. « Récifs » hamiltoniens de New-York	11
Staghorn Point	11
C. « Récifs » du Traverse Group du Michigan	11
« Récifs » des environs d'Alpena	12
Thunder Bay Quarry	12
Michigan Alkali Company Quarry	14
Four Mile Dam	15
« Récifs » des environs de Petoskey	16
Portland Cement Company's Quarry	16
Northern Lime Company's Quarry	16
D. « Récifs » du Tully de New-York	18
« Récif » de Borodino	18
III. Remarques générales sur les récifs décrits	19
IV. Essai de comparaison avec les « récifs » actuels	23
Morphologie	29
Soubassement et bassin sédimentaire	30
Importance du phénomène	30
Organismes constructeurs	32
Caractères pétrographiques	35
Structure	36
Rapidité de la croissance des « récifs »	38
Conditions bathymétriques	38
Conclusion	39
Bibliographie	43
Echelles stratigraphiques utilisées	46
Explication des planches	49

GOEMAERE, Imprimeur du Roi, Bruxelles.



Fig. 2. — Wabash (Indiana). Cœur du « récif ».



Fig. 2b. — Wabash (Indiana). *Stromatactis*.



Fig. 4. — « Récif » de la vallée du Niagara.



Fig. 2a. — Wabash (Indiana).
 Flane Nord du « récif » avec *Stromatactis*.



Fig. 2. — « Récif » de Staghorn Point (N.-Y.).



Fig. 3. — Carrière de la Michigan Alkali Company, Alpena (Michigan).

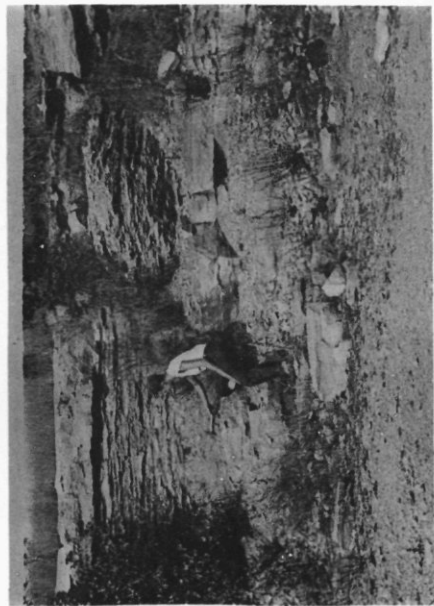


Fig. 1. — Vogelsanger Quarry, Williamsville (N.-Y.).
 Extrémité du « récif » indentée dans le calcaire d'Onondaga.

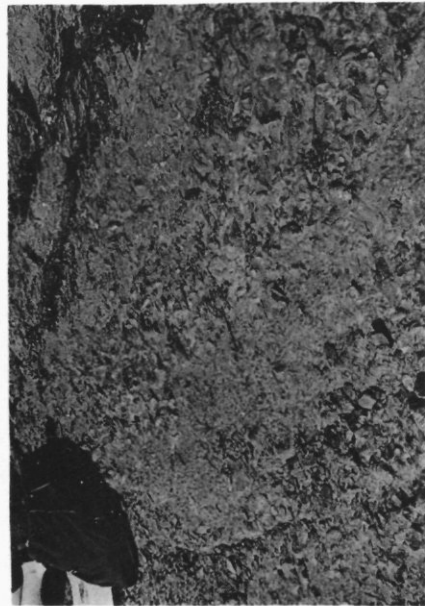


Fig. 2a. — « Récif » de Staghorn Point (N.-Y.).

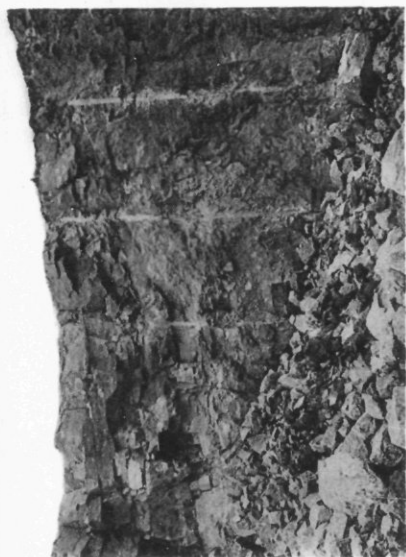


Fig. 1a. — Thunder Bay Quarry. Détail du contact.



Fig. 1c. — Thunder Bay Quarry. Petit « récif ».



Fig 1. — Thunder Bay Quarry (Alpena, Michigan).
 Contact du « récif » avec les couches d'Alpena



Fig. 1b. — Thunder Bay Quarry. Extrémité d'un « récif ».

M. LECOMPTE. — Quelques types de “ récifs ” siluriens et dévoniens
 de l'Amérique du Nord.

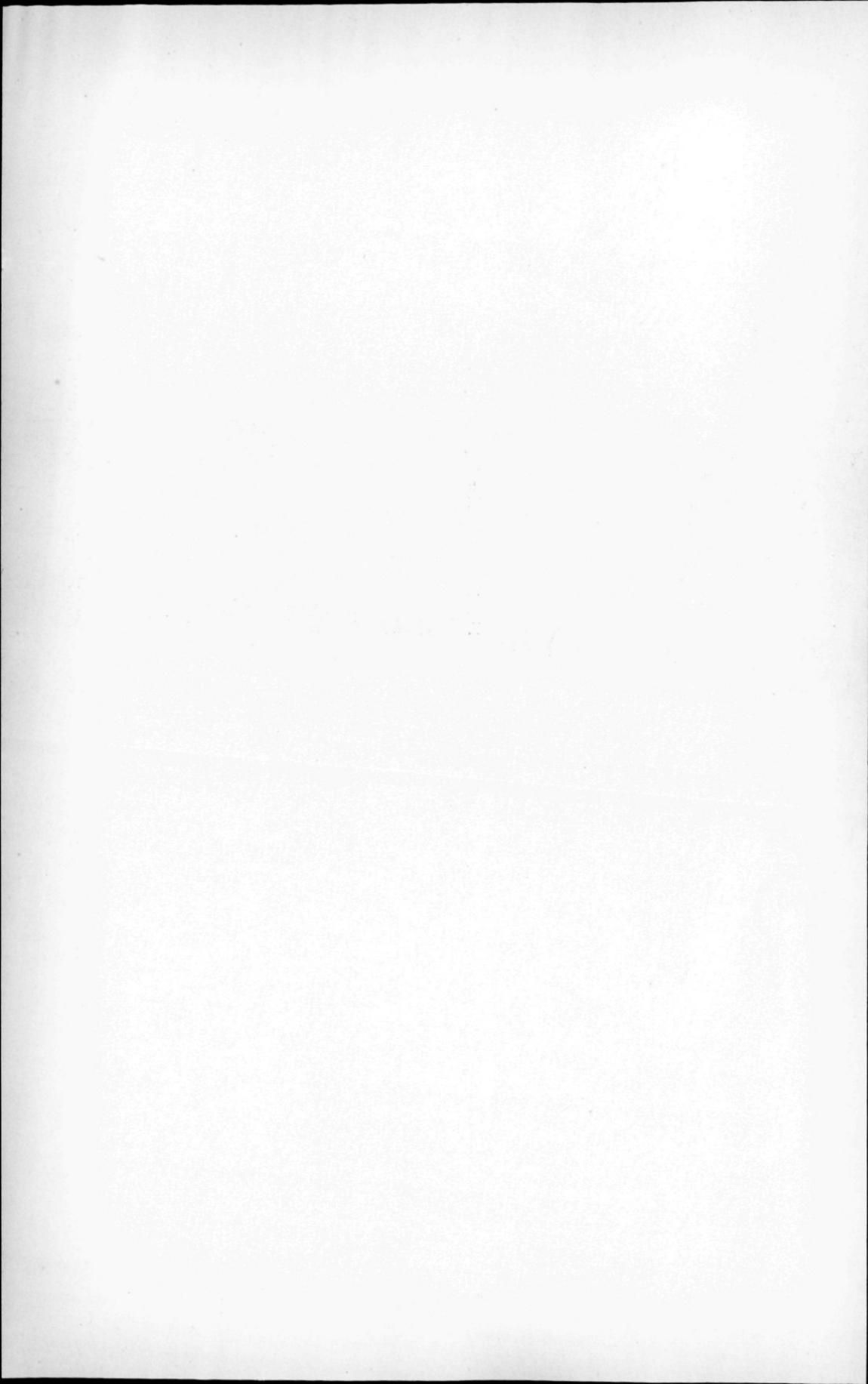


Fig. 1 $\left(\frac{1}{1}\right)$

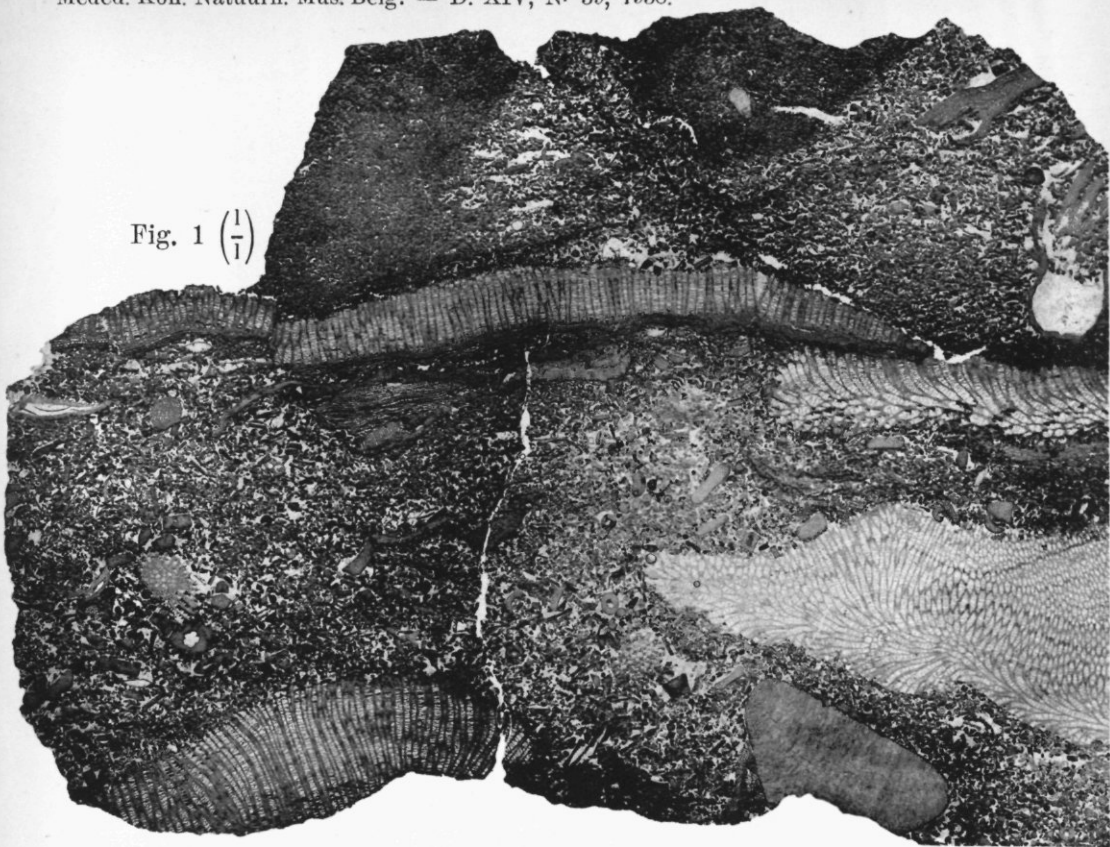


Fig. 1a (x 6)

